

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/003347

International filing date: 28 February 2005 (28.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-060047
Filing date: 04 March 2004 (04.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 28 April 2005 (28.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

07. 3. 2005

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 3 月 4 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 6 0 0 4 7
Application Number:

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

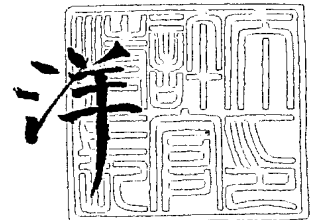
J P 2 0 0 4 - 0 6 0 0 4 7

出 願 人 B O C エドワーズ株式会社
Applicant(s):

2 0 0 5 年 4 月 1 4 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 2004-004
【提出日】 平成16年 3月 4日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 F16C 32/04
F04D 19/04
【発明者】
【住所又は居所】 千葉県習志野市屋敷 4 - 3 - 1 BOCエドワーズ株式会社内
【氏名】 川島 敏明
【特許出願人】
【識別番号】 598021579
【氏名又は名称】 BOCエドワーズ株式会社
【代理人】
【識別番号】 100105201
【弁理士】
【氏名又は名称】 椎名 正利
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 053154
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 0210043

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

回転体と、
該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を制御する複数個の電磁石と、
該電磁石に電力を供給する電源と、
前記電磁石の一端が共通に接続された共通ノードと、
該共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、
前記一つの電磁石の他端から前記電源の負極へ供給される供給電流又は前記一つの電磁石の他端から前記電源の正極へ回生される回生電流により、前記各電磁石の励磁を制御する励磁制御手段とを備え、
前記切替手段は、
前記正極及び前記共通ノード間を断接する第 1 のスイッチ素子と、
前記負極から前記共通ノードへの向きに電流を流す第 1 の整流素子とを有し、
前記励磁制御手段は、
前記一つの電磁石の他端及び前記負極間を断接する第 2 のスイッチ素子と、
前記一つの電磁石の他端から前記正極への向きに電流を流す第 2 の整流素子とを有することを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項 2】

回転体と、
該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を制御する複数個の電磁石と、
該電磁石に電力を供給する電源と、
前記電磁石の一端が共通に接続された共通ノードと、
該共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、
前記電源の正極から前記一つの電磁石の他端へ供給される供給電流又は前記電源の負極から前記一つの電磁石の他端へ回生される回生電流により、前記各電磁石の励磁を制御する励磁制御手段とを備え、
前記切替手段は、
前記共通ノード及び前記負極間を断接する第 1 のスイッチ素子と、
前記共通ノードから前記正極への向きに電流を流す第 1 の整流素子とを有し、
前記励磁制御手段は、
前記正極及び前記一つの電磁石の他端間を断接する第 2 のスイッチ素子と、
前記負極から前記一つの電磁石の他端への向きに電流を流す第 2 の整流素子とを有することを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項 3】

前記切替手段の切替位相及び前記励磁制御手段の制御位相を共通の制御サイクルのもとに調節することにより、前記各電磁石に流れる電流を増加、減少又は一定に維持することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の磁気軸受装置。

【請求項 4】

前記第 1 の整流素子には並列に第 3 のスイッチ素子が備えられたことを特徴とする請求項 1、2 又は 3 記載の磁気軸受装置。

【請求項 5】

回転体と、
該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を制御する複数個の電磁石と、
該電磁石に電力を供給する電源と、
前記電磁石の一端が共通に接続された共通ノードと、
該共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、
前記一つの電磁石の他端から前記電源の負極へ供給される供給電流又は前記一つの電磁石の他端から前記電源の正極へ回生される回生電流により、前記複数個の電磁石のうち少なくとも 1 個の励磁を制御する第 1 の励磁制御手段と、
前記正極から前記他の一つの電磁石の他端へ供給される供給電流又は前記負極から前記他

の一つの電磁石の他端へ回生される回生電流により、前記第 1 の励磁制御手段により励磁制御される電磁石以外の電磁石の励磁を制御する第 2 の励磁制御手段とを備え、
前記切替手段は、
前記共通ノード及び前記負極間を断接するスイッチ素子と、前記正極及び前記共通ノード間を断接するスイッチ素子と、
前記共通ノードから前記正極への向きの電流、及び前記負極から前記共通ノードへの向きの電流をそれぞれ流す整流素子とを有し、
前記第 1 の励磁制御手段は、
前記一つの電磁石の他端及び前記負極間を断接するスイッチ素子と、
前記一つの電磁石の他端から前記正極への向きに電流を流す整流素子とを有し、
前記第 2 の励磁制御手段は、
前記正極及び前記他の一つの電磁石の他端間を断接するスイッチ素子と、
前記負極から前記他の一つの電磁石の他端への向きに電流を流す整流素子とを有することを特徴とする磁気軸受装置。

【請求項 6】

前記切替手段の切替位相、前記第 1 の励磁制御手段及び前記第 2 の励磁制御手段の制御位相を共通の制御サイクルのもとに調節することにより、前記各電磁石に流れる電流を増加、減少又は一定に維持することを特徴とする請求項 5 記載の磁気軸受装置。

【請求項 7】

前記複数の電磁石は、前記正極及び前記共通ノード間に流れる電流と該共通ノード及び前記負極間に流れる電流とがほぼ均等化されるように、前記第 1 の励磁制御手段により制御される電磁石と前記第 2 の励磁制御手段により制御される電磁石とにグループ分けして構成されたことを特徴とする請求項 5 又は請求項 6 記載の磁気軸受装置。

【請求項 8】

前記電磁石に一定電流が流れたときに該電流の値を検出する電流検出手段を備えたことを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の磁気軸受装置。

【請求項 9】

前記電流検出手段は、前記負極に一端が接続された抵抗と、該抵抗に流れた電流を検出する検出部とを備えたことを特徴とする請求項 8 記載の磁気軸受装置。

【請求項 10】

請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプであって、
前記回転体は、回転翼及び該回転翼の中央に配設されたロータ軸を有し、
前記各電磁石は、該ロータ軸を空中に磁気浮上させることを特徴とするターボ分子ポンプ。

【請求項 11】

前記回転体及び前記電磁石を有するターボ分子ポンプ本体と、
前記切替手段及び前記励磁制御手段、又は前記切替手段、前記第 1 の励磁制御手段及び前記第 2 の励磁制御手段を有する制御装置とを備え、
前記ターボ分子ポンプ本体と制御装置とが一体化されたことを特徴とする請求項 10 記載のターボ分子ポンプ。

【書類名】明細書

【発明の名称】磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプ

【技術分野】

【0001】

本発明は磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプに係わり、特に、電磁石を励磁駆動するアンプ回路の素子数を減らすことでターボ分子ポンプの製造、設置等に必要なコストを減少させるとともに、電磁石に流れる電流の検出に際して誤差を減らすことのできる磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプに関する。

【背景技術】

【0002】

近年のエレクトロニクスの発展に伴い、メモリや集積回路といった半導体の需要が急激に増大している。これらの半導体は、極めて純度の高い半導体基板に不純物をドーピングして電気的性質を与えたり、半導体基板上に微細な回路パターンを形成し、これを積層するなどして製造される。そして、これらの作業は空気中の塵等による影響を避けるため高真空状態のチャンバ内で行われる必要がある。このチャンバの排気には、一般にポンプ装置として真空ポンプが用いられているが、特に残留ガスが少なく、保守が容易である等の点から真空ポンプの中の1つであるターボ分子ポンプが多用されている。

【0003】

また、半導体の製造工程では、さまざまなプロセスガスを半導体の基板に作用させる工程が数多くあり、ターボ分子ポンプはチャンバ内を真空にするのみならず、これらのプロセスガスをチャンバ内から排気するのにも使用される。さらに、ターボ分子ポンプは、電子顕微鏡等の設備において、粉塵等の存在による電子ビームの屈折等を防止するため、電子顕微鏡等のチャンバ内の環境を高度の真空状態にするのにも用いられている。

【0004】

そして、このようなターボ分子ポンプは、半導体製造装置や電子顕微鏡等のチャンバからガスを吸引排気するためのターボ分子ポンプ本体と、このターボ分子ポンプ本体を制御する制御装置とから構成されている。ターボ分子ポンプ本体の縦断面図を図10に示す。

図10において、ターボ分子ポンプ本体100は、円筒状の外筒127の上端に吸気口101が形成されている。そして、外筒127の内方には、ガスを吸引排気するためのタービンブレードによる複数の回転翼102a、102b、102c、…を周部に放射状かつ多段に形成した回転体103が備えられている。この回転体103の中心にはロータ軸113が取り付けられており、このロータ軸113は、例えば5軸制御の磁気軸受により空中に浮上支持かつ位置制御されている。

【0005】

上側径方向電磁石104は、4個の電磁石がX軸とY軸にかつ＋方向と－方向に、それぞれの対をなして配置されている（図示しないが、必要に応じて電磁石104X＋、104X－、104Y＋、104Y－という）。この上側径方向電磁石104に近接かつ対応されて4個の電磁石からなる上側径方向センサ107が備えられている。この上側径方向センサ107は回転体103の径方向変位を検出し、図示せぬ制御装置に送るように構成されている。

【0006】

この制御装置においては、上側径方向センサ107が検出した変位信号に基づき、PID調節機能を有する補償回路を介したアンプ回路150（後述する）により上側径方向電磁石104を励磁制御し、ロータ軸113の上側の径方向位置を調整する。

そして、このロータ軸113は、高透磁率材（鉄など）などにより形成され、上側径方向電磁石104の磁力により吸引されるようになっている。かかる調整は、X軸方向とY軸方向とにそれぞれ独立して行われる。

【0007】

また、下側径方向電磁石105及び下側径方向センサ108が、上側径方向電磁石10

4 及び上側径方向センサ 107 と同様に配置され、ロータ軸 113 の下側の径方向位置を上側の径方向位置と同様に調整している（下側径方向電磁石 105 についても、必要に応じて電磁石 105 X+、105 X-、105 Y+、105 Y- という）。

【0008】

さらに、軸方向電磁石 106 A、106 B が、ロータ軸 113 の下部に備えた円板状の金属ディスク 111 を上下に挟んで配置されている。金属ディスク 111 は、鉄などの高透磁率材で構成されている。ロータ軸 113 の軸方向変位を検出するために軸方向センサ 109 が備えられ、その軸方向変位信号が制御装置に送られるように構成されている。

【0009】

そして、軸方向電磁石 106 A、106 B は、この軸方向変位信号に基づき、制御装置の PID 調節機能を有する補償回路を介したアンプ回路 150 により励磁制御されるようになっている。軸方向電磁石 106 A は、磁力により金属ディスク 111 を上方に吸引し、軸方向電磁石 106 B は、金属ディスク 111 を下方に吸引する。

【0010】

このように、制御装置は、この軸方向電磁石 106 A、106 B が金属ディスク 111 に及ぼす磁力を適当に調節し、ロータ軸 113 を軸方向に磁気浮上させ、空間に非接触で保持するようになっている。

なお、これら上側径方向電磁石 104、下側径方向電磁石 105 及び軸方向電磁石 106 A、106 B を励磁駆動するアンプ回路 150 については、後述にてさらに詳細に説明する。

【0011】

一方、モータ 121 は、ロータ軸 113 を取り囲むように周状に配置された複数の磁極を備えている。各磁極は、ロータ軸 113 との間に作用する電磁力を介してロータ軸 113 を回転駆動するように、制御装置によって制御されている。

また、モータ 121 には図示しない回転数センサが組み込まれており、この回転数センサの検出信号によりロータ軸 113 の回転数が検出されるようになっている。さらに、例えば下側径方向センサ 108 近傍に、図示しない位相センサが取り付けられており、ロータ軸 113 の回転の位相を検出するようになっている。制御装置では、この位相センサと回転数センサの検出信号をともに用いて磁極の位置を検出するようになっている。

【0012】

回転翼 102 a、102 b、102 c、…とわずかの空隙を隔てて複数枚の固定翼 123 a、123 b、123 c、…が配設されている。回転翼 102 a、102 b、102 c、…は、それぞれ排気ガスの分子を衝突により下方向に移送するため、ロータ軸 113 の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成されている。また、固定翼 123 も、同様にロータ軸 113 の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成され、かつ外筒 127 の内方に向けて回転翼 102 の段と互い違いに配設されている。

【0013】

そして、固定翼 123 の一端は、複数の段積みされた固定翼スペーサ 125 a、125 b、125 c、…の間に嵌挿された状態で支持されている。固定翼スペーサ 125 はリング状の部材であり、例えばアルミニウム、鉄、ステンレス、銅などの金属、又はこれらの金属を成分として含む合金などの金属によって構成されている。

【0014】

固定翼スペーサ 125 の外周には、わずかの空隙を隔てて外筒 127 が固定されている。外筒 127 の底部にはベース部 129 が配設され、固定翼スペーサ 125 の下部とベース部 129 の間にはネジ付きスペーサ 131 が配設されている。そして、ベース部 129 中のネジ付きスペーサ 131 の下部には排気口 133 が形成され、外部に連通されている。

【0015】

ネジ付きスペーサ 131 は、アルミニウム、銅、ステンレス、鉄、又はこれらの金属を成分とする合金などの金属によって構成された円筒状の部材であり、その内周面に螺旋状

のネジ溝 131a が複数条刻設されている。ネジ溝 131a の螺旋の方向は、回転体 103 の回転方向に排気ガスの分子が移動したときに、この分子が排気口 133 の方へ移送される方向である。

【0016】

回転体 103 の回転翼 102a、102b、102c、…に続く最下部には回転翼 102d が垂下されている。この回転翼 102d の外周面は、円筒状で、かつネジ付きスペーサ 131 の内周面に向かって張り出されており、このネジ付きスペーサ 131 の内周面と所定の隙間を隔てて近接されている。

ベース部 129 は、ターボ分子ポンプ本体 100 の基底部を構成する円盤状の部材であり、一般には鉄、アルミニウム、ステンレスなどの金属によって構成されている。ベース部 129 はターボ分子ポンプ本体 100 を物理的に保持すると共に、熱の伝導路の機能も兼ね備えているので、鉄、アルミニウムや銅などの剛性があり、熱伝導率も高い金属が使用されるのが望ましい。

【0017】

かかる構成において、回転翼 102 がモータ 121 により駆動されてロータ軸 113 と共に回転すると、回転翼 102 と固定翼 123 の作用により、吸気口 101 を通じてチャンバからの排気ガスが吸気される。

吸気口 101 から吸気された排気ガスは、回転翼 102 と固定翼 123 の間を通り、ベース部 129 へ移送される。このとき、排気ガスが回転翼 102 に接触する際に生ずる摩擦熱や、モータ 121 で発生した熱の伝導などにより、回転翼 102 の温度は上昇するが、この熱は、輻射又は排気ガスの気体分子などによる伝導により固定翼 123 側に伝達される。

【0018】

固定翼スペーサ 125 は、外周部で互いに接合しており、固定翼 123 が回転翼 102 から受け取った熱や排気ガスが固定翼 123 に接触する際に生ずる摩擦熱などを外部へと伝達する。そして、ベース部 129 に移送されてきた排気ガスは、ネジ付きスペーサ 131 のネジ溝 131a に案内されつつ排気口 133 へと送られる。

【0019】

ここに、ターボ分子ポンプは、個々に調整された固有のパラメータ（例えば、機種の特長、機種に対応する諸特性）に基づいた制御を要する。この制御パラメータを格納するために、上記ターボ分子ポンプ本体 100 は、その本体内に電子回路部 141 を備えている。電子回路部 141 は、EEPROM 等の半導体メモリ及びそのアクセスのための半導体素子等の電子部品、その実装用の基板 143 等から構成される。この電子回路部 141 は、ターボ分子ポンプ本体 100 の下部を構成するベース部 129 の中央付近の図示しない回転数センサの下部に収容され、気密性の底蓋 145 によって閉じられている。

【0020】

次に、このように構成されるターボ分子ポンプ本体 100 に対し、その上側径方向電磁石 104、下側径方向電磁石 105 及び軸方向電磁石 106A、106B を励磁駆動するアンプ回路について説明する。このアンプ回路の従来例としては特許文献 1 が知られている。

【0021】

従来のアンプ回路の回路図を図 11 に示す。なお、各電磁石 104、105、106A、106B を構成する電磁石巻線 151、151、…はターボ分子ポンプ本体 100 側に存在する素子であるが、簡単のためこれもあわせて示す。

図 11 において、電磁石巻線 151 は、一端 151a がトランジスタ 161 及びダイオード 165 に接続されている。一方、電磁石巻線 151 の他端 151b は、電流検出回路 155 を介して、トランジスタ 162 及びダイオード 166 に接続されている。

【0022】

このとき、トランジスタ 161、162 は、ともにパワー MOSFET であり、トランジスタ 161 のドレイン端子 161a が電源 153 の正極 153a に、ソース端子 161

bが電磁石巻線151の一端151aに接続されている。また、トランジスタ162は、ドレイン端子162aが電流検出回路155を介して電磁石巻線151の他端151bに、ソース端子162bが電源153の負極153bに接続されている。

【0023】

さらに、ダイオード165、166は、ともに電流回生用のダイオードであり、ダイオード165のカソード端子165aが電磁石巻線151の一端151aに、アノード端子165bが負極153bに接続されている。また、ダイオード166は、カソード端子166aが正極153aに、アノード端子166bが電流検出回路155を介して電磁石巻線151の他端151bに接続されている。

【0024】

そして、電磁石巻線151の他端151bに接続されている電流検出回路155は、例えばホールセンサ式電流センサであり、電磁石巻線151に流れた電流（以下、電磁石電流*i_L*という）を検出して、この検出結果である電流検出信号173を後述するアンプ制御回路171に出力するようになっている。また、電源153の正極153a及び負極153b間には、電源153の安定化のためのコンデンサ（図示略）が接続されるようになっている。

以上のようにして構成されるアンプ回路150は、各電磁石104、105、106A、106Bを構成する電磁石巻線151、151、…毎に設けられるようになっている。

【0025】

アンプ制御回路171は、制御装置の図示しないデジタル・シグナル・プロセッサ部（以下、DSP部という）内の回路となっており、このアンプ制御回路171は、電流検出回路155で検出した電磁石電流*i_L*の値と電流指令値とを比較するようになっている。そして、この比較結果に基づき、PWM制御による1周期である制御サイクル*T_s*内にトランジスタ161、162のゲート端子に出力するゲート駆動信号174、175のパルス幅時間を決めるようになっている。

【0026】

かかる構成において、アンプ回路150の両トランジスタ161、162をonにすると、正極153aからトランジスタ161、電磁石巻線151、トランジスタ162を介して負極153bへ供給される電流により、電磁石電流*i_L*が増加する。一方、両トランジスタ161、162をoffにすると、負極153bからダイオード165、電磁石巻線151、ダイオード166を介して正極153aへ回生する電流により、電磁石電流*i_L*が減少する。

【0027】

このとき、電流検出回路155で検出した電磁石電流*i_L*の値が電流指令値よりも小さい場合には、アンプ制御回路171で電磁石電流*i_L*を増加させるように制御が行われる。そのため、図12に示すように1制御サイクル*T_s*中で両トランジスタ161、162をonにするパルス幅時間が、両トランジスタ161、162をoffにするパルス幅時間よりも長くされる。その結果、電磁石電流*i_L*の増加時間*T_{p1}*が、その減少時間*T_{p2}*よりも長くなるので、1制御サイクル*T_s*中に電磁石電流*i_L*が増加する。

【0028】

一方、電流検出回路155で検出した電磁石電流*i_L*の値が電流指令値よりも大きい場合には、アンプ制御回路171で電磁石電流*i_L*を減少させるように制御が行われる。そのため、図12に示すように1制御サイクル*T_s*中で両トランジスタ161、162をoffにするパルス幅時間が、両トランジスタ161、162をonにするパルス幅時間よりも長くされる。その結果、電磁石電流*i_L*の減少時間*T_{p2}*が増加時間*T_{p1}*よりも長くなるので、1制御サイクル*T_s*中に電磁石電流*i_L*が減少する。

【0029】

これにより、制御サイクル*T_s*中に電磁石電流*i_L*を適宜増減させることができるので、電磁石電流*i_L*の値を電流指令値と一致させることができる。

なお、電流検出回路155における電磁石電流*i_L*の検出は、図12に示すように制御

サイクル T_s 中に 1 回同じ検出タイミング T_d で行われる。

【0030】

【特許文献 1】特許 3176584 号公報（図 8、図 9）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0031】

ところで、上述したようにアンプ回路 150 は各電磁石 104、105、106A、106B を構成する電磁石巻線 151、151、…毎に設けられるものであるため、5 軸制御の磁気軸受の場合、その制御装置内には 10 個のアンプ回路 150 が存在する。そして、個々のアンプ回路 150 は、図 11 に示したような 2 個のトランジスタ 161、162 と 2 個のダイオード 165、166 とによるブリッジ回路で構成されるため、全ての電磁石巻線 151、151、…を励磁駆動するためには 20 個のトランジスタと 20 個のダイオードとが必要となる。

【0032】

従って、アンプ回路 150 は素子数が多いのでアンプ回路 150 の小型化が困難であり、ターボ分子ポンプ全体の小型化を図るのが困難であった。そのため、ターボ分子ポンプをクリーンルーム等に設置する場合にも広い場所が必要となって設置コストが上昇するおそれがあった。また、アンプ回路 150 の素子数が多いために故障率が上昇するおそれがあった。さらに、アンプ回路 150 での消費電力や発熱も多くなるおそれがあった。また、素子数の多さからアンプ回路 150 自身の製造コスト等が上昇するおそれがあった。

【0033】

加えて、図 11 に示したように電磁石巻線 151 はターボ分子ポンプ本体 100 側に存在する素子であるため、電磁石巻線 151 の両端 151a、151b のノード（このノードをそれぞれノード R、ノード S という）は、制御装置及びターボ分子ポンプ本体 100 間のケーブルを構成する配線となる。そして、アンプ回路 150 が制御装置内に 10 個存在することを考慮すると、制御装置及びターボ分子ポンプ本体 100 間のケーブルにはノード R、S として 20 本の配線が存在することになる。従って、制御装置及びターボ分子ポンプ本体 100 間のケーブルを多芯とする必要があったり、ケーブルのターボ分子ポンプ本体 100 側の入出口となるコネクタ（図示略）を大型化する必要があるため、部品コストが上昇するおそれがあった。

【0034】

さらに、従来のアンプ回路 150 に対する制御では、図 12 に示したように制御サイクル T_s 中に常に電磁石電流 i_L の増減が行われる（すなわち一定の状態にならない）。そのため、電磁石電流 i_L の検出を行う検出タイミング T_d では電磁石電流 i_L が過渡的な状態にあった。従って、検出タイミング T_d と実際の電磁石電流 i_L の波形との間にわずかでもずれ等が生じると、本来検出すべきであった電磁石電流 i_L の値に対して大きく誤差を生じるおそれがあった。また、この検出タイミング T_d 付近で電磁石電流 i_L の増減が切り替わると、アンプ回路 150 内にノイズが発生したり、電源 153 の正極 153a 及び負極 153b にノイズが乗ったりして、検出誤差を生ずるおそれがあった。

【0035】

本発明はこのような従来の課題に鑑みてなされたもので、電磁石を励磁駆動するアンプ回路の素子数を減らすことでターボ分子ポンプの製造、設置等に必要のコストを減少させるとともに、電磁石に流れる電流の検出に際して誤差を減らすことのできる磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0036】

このため本発明は、磁気軸受装置に関し、回転体と、該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を制御する複数個の電磁石と、該電磁石に電力を供給する電源と、前記電磁石の一端が共通に接続された共通ノードと、該共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、前記一つの電磁石の他端から前記電源の負極へ供給される供給電流又は前記一つの電磁

石の他端から前記電源の正極へ回生される回生電流により、前記各電磁石の励磁を制御する励磁制御手段とを備え、前記切替手段は、前記正極及び前記共通ノード間を断接する第1のスイッチ素子と、前記負極から前記共通ノードへの向きに電流を流す第1の整流素子とを有し、前記励磁制御手段は、前記一つの電磁石の他端及び前記負極間を断接する第2のスイッチ素子と、前記一つの電磁石の他端から前記正極への向きに電流を流す第2の整流素子とを有するように構成した。

【0037】

励磁制御手段の第2のスイッチ素子を接続して切替手段の第1のスイッチ素子を接続すると、供給電流が流れて電磁石電流が増加する。一方、第2のスイッチ素子を切断して第1のスイッチ素子を切断すると、回生電流が流れて電磁石電流が減少する。

このことにより、励磁制御手段を1つのスイッチ素子と1つの整流素子のみで構成しても、切替手段への制御を行いつつ励磁制御手段を制御することで、電磁石電流を増加又は減少させて電磁石の励磁を制御することが可能となる。

【0038】

そのため、励磁制御手段を構成する素子数が減少するので、これを備えた磁気軸受装置の故障率を下げるができる。また、磁気軸受装置の消費電力や、発熱も減らすことができる。さらに、励磁制御手段はいわゆるレギュレータの回路ではないので、共通ノードに対して安定化のためのコンデンサを設けたり、保護用のチョークコイル等を設ける必要がなく、部品コスト等を下げることができる。

【0039】

なお、第2のスイッチ素子を接続して第1のスイッチ素子を切断するか、第2のスイッチ素子を切断して第1のスイッチ素子を接続すると、電磁石の他端から正極又は負極へフライホイール電流が流れるので電磁石電流を一定に保つことができる。

【0040】

また、本発明は、磁気軸受装置に関し、回転体と、該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を制御する複数の電磁石と、該電磁石に電力を供給する電源と、前記電磁石の一端が共通に接続された共通ノードと、該共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、前記電源の正極から前記一つの電磁石の他端へ供給される供給電流又は前記電源の負極から前記一つの電磁石の他端へ回生される回生電流により、前記各電磁石の励磁を制御する励磁制御手段とを備え、前記切替手段は、前記共通ノード及び前記負極間を断接する第1のスイッチ素子と、前記共通ノードから前記正極への向きに電流を流す第1の整流素子とを有し、前記励磁制御手段は、前記正極及び前記一つの電磁石の他端間を断接する第2のスイッチ素子と、前記負極から前記一つの電磁石の他端への向きに電流を流す第2の整流素子とを有するように構成した。

【0041】

励磁制御手段の第2のスイッチ素子を接続して切替手段の第1のスイッチ素子を接続すると、供給電流が流れて電磁石電流が増加する。一方、第2のスイッチ素子を切断して第1のスイッチ素子を切断すると、回生電流が流れて電磁石電流が減少する。

このことにより、励磁制御手段を1つのスイッチ素子と1つの整流素子のみで構成しても、電磁石電流を増加又は減少させて電磁石の励磁を制御することが可能となる。従って、設計や制御が容易な励磁制御手段、切替手段を選択可能となる。

【0042】

なお、この場合も第2のスイッチ素子を接続して第1のスイッチ素子を切断するか、第2のスイッチ素子を切断して第1のスイッチ素子を接続すると、電磁石の他端から正極又は負極へフライホイール電流が流れるので電磁石電流を一定に保つことができる。

【0043】

さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、前記切替手段の切替位相及び前記励磁制御手段の制御位相を共通の制御サイクルのもとに調節することにより、前記各電磁石に流れる電流を増加、減少又は一定に維持することを特徴とする。

【0044】

切替手段の切替位相及び励磁制御手段の制御位相を共通の制御サイクルのもとに調節することで、少ない素子でかつ簡単に回路構成できる。そして、制御サイクル中に上記供給電流、回生電流及びフライホイール電流のいずれかの電流を電磁石に流すことができる。そのため、電磁石に流れる電流を増加、減少又は一定に維持することができる。

【0045】

さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、前記第1の整流素子には並列に第3のスイッチ素子が備えられたことを特徴とする。

【0046】

切替手段の第1の整流素子を介して電流が流れるときに第3のスイッチ素子を接続することで、第1の整流素子の発熱を抑えることができる。

【0047】

さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、回転体と、該回転体の半径方向位置及び／又は軸方向位置を制御する複数個の電磁石と、該電磁石に電力を供給する電源と、前記電磁石の一端が共通に接続された共通ノードと、該共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、前記一つの電磁石の他端から前記電源の負極へ供給される供給電流又は前記一つの電磁石の他端から前記電源の正極へ回生される回生電流により、前記複数個の電磁石のうち少なくとも1個の励磁を制御する第1の励磁制御手段と、前記正極から前記他の一つの電磁石の他端へ供給される供給電流又は前記負極から前記他の一つの電磁石の他端へ回生される回生電流により、前記第1の励磁制御手段により励磁制御される電磁石以外の電磁石の励磁を制御する第2の励磁制御手段とを備え、前記切替手段は、前記共通ノード及び前記負極間を断接するスイッチ素子と、前記正極及び前記共通ノード間を断接するスイッチ素子と、前記共通ノードから前記正極への向きの電流、及び前記負極から前記共通ノードへの向きの電流をそれぞれ流す整流素子とを有し、前記第1の励磁制御手段は、前記一つの電磁石の他端及び前記負極間を断接するスイッチ素子と、前記一つの電磁石の他端から前記正極への向きに電流を流す整流素子とを有し、前記第2の励磁制御手段は、前記正極及び前記他の一つの電磁石の他端間を断接するスイッチ素子と、前記負極から前記他の一つの電磁石の他端への向きに電流を流す整流素子とを有するように構成した。

【0048】

切替手段は、共通ノード及び負極間、正極及び共通ノード間を断接するスイッチ素子と、共通ノードから正極へ、負極から共通ノードへ電流を流す整流素子とを有するので、複数個の電磁石が、第1の励磁制御手段により制御される電磁石と第2の励磁制御手段により制御される電磁石とに分けられても、電磁石電流を増加又は減少させて電磁石の励磁を制御することが可能となる。

なお、切替手段では、共通ノード及び負極間の接続と正極及び共通ノード間の接続とが重複しないようにスイッチ素子を断接することが望ましい。これにより正極及び負極間の貫通電流を防ぐことができる。

【0049】

さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、前記切替手段の切替位相、前記第1の励磁制御手段及び前記第2の励磁制御手段の制御位相を共通の制御サイクルのもとに調節することにより、前記各電磁石に流れる電流を増加、減少又は一定に維持することを特徴とする。

【0050】

切替手段の切替位相、第1の励磁制御手段及び第2の励磁制御手段の制御位相を共通の制御サイクルのもとに調節することで、少ない素子でかつ簡単に回路構成できる。そして、制御サイクル中に上記供給電流、回生電流及びフライホイール電流のいずれかの電流を電磁石に流すことができる。

【0051】

さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、前記複数個の電磁石は、前記正極及び前記共通ノード間に流れる電流と該共通ノード及び前記負極間に流れる電流とがほぼ均等化されるように、前記第1の励磁制御手段により制御される電磁石と前記第2の励磁制御手段に

より制御される電磁石とにグループ分けして構成されたことを特徴とする。

【0052】

共通ノードを介して流れる電磁石電流がほぼ均等化するように、複数の電磁石がグループ分けされるので、切替手段を構成するスイッチ素子や整流素子のサイズを小さくできる。また、これらの素子を介して流れる電流も減らせるので、発熱等も防止できる。さらに、電源から供給すべき電流も減らせるので、入力電源容量を小さくできる。

【0053】

さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、前記電磁石に一定電流が流れたときに該電流の値を検出する電流検出手段を備えて構成した。

【0054】

電磁石にフライホイール電流を流すことで電磁石電流を一定に保つことができるので、このときに電流検出手段では電磁石電流の検出が行われる。

従って、過渡的な状態で電磁石電流の検出を行う必要がないため、検出タイミングと実際の電磁石電流の波形との間にずれ等が生じてても、本来検出すべきであった電磁石電流の値に対し大きく誤差を生じることはない。また、検出タイミング付近での電磁石電流の増減の切り替わりを避けられるので、励磁制御手段や正極、負極に生じるノイズを低減して、検出誤差を減らすことができる。

【0055】

さらに、本発明は、磁気軸受装置に関し、前記電流検出手段は、前記負極に一端が接続された抵抗と、該抵抗に流れた電流を検出する検出部とを備えて構成した。

【0056】

このことにより、電流検出手段に高い電圧が入力されることがなくなるので、電磁石電流の検出に際してノイズが乗り難く、精度良く電磁石電流を検出することができる。

【0057】

さらに、本発明は、磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプであって、前記回転体は、回転翼及び該回転翼の中央に配設されたロータ軸を有し、前記各電磁石は、該ロータ軸を空中に磁気浮上させることを特徴とする。

【0058】

上述した磁気軸受装置はターボ分子ポンプに搭載されるので、ターボ分子ポンプ全体の小型化を図ることができる。従って、ターボ分子ポンプのクリーンルーム等への設置コストを下げるができる。

【0059】

さらに、本発明は、ターボ分子ポンプに関し、前記回転体及び前記電磁石を有するターボ分子ポンプ本体と、前記切替手段及び前記励磁制御手段、又は前記切替手段、前記第1の励磁制御手段及び前記第2の励磁制御手段を有する制御装置とを備え、前記ターボ分子ポンプ本体と制御装置とが一体化されたことを特徴とする。

【0060】

上述した励磁制御手段、又は第1の励磁制御手段及び第2の励磁制御手段は小型化が可能なので、この励磁制御手段等を有する制御装置も小型化が可能である。従って、制御装置とターボ分子ポンプ本体とは一体化が可能となり、ターボ分子ポンプの製造、配置等に必要コストをさらに減少させることができる。

【発明の効果】

【0061】

以上説明したように本発明によれば、共通ノードの電圧を切り替える切替手段と、供給電流又は回生電流により複数の電磁石の励磁を制御する励磁制御手段とを備えて構成したので、励磁制御手段を1つのスイッチ素子と1つの整流素子のみで構成しても、切替手段への制御を行いつつ励磁制御手段を制御することで、電磁石電流を増加又は減少させて電磁石の励磁を制御することが可能となる。従って、励磁制御手段の素子数を減らすことができるので、ターボ分子ポンプの製造、設置等に必要コストを減少させることができる。

【0062】

また、電磁石に一定電流が流れたときにこの電流の値を検出する電流検出手段を備えて構成したので、過渡的な状態で電磁石電流の検出を行う必要がなくなり、検出に際しての誤差を減らすことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0063】

以下、本発明の第1の実施形態について説明する。

本発明の第1実施形態であるアンプ回路の回路図を図1に示す。なお、図11と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。

図1において、ターボ分子ポンプ本体200には、各電磁石104、105、106A、106Bを構成する電磁石巻線151、151、…に対して共通のノード（このノードを共通ノードCという）が設けられている。そして、各電磁石巻線151の一端151aが共通ノードCに接続されている。また、電磁石巻線151の他端151bは、アンプ回路250のトランジスタ261及びダイオード265に接続されている（この他端151bのノードをノードEという）。

【0064】

このとき、トランジスタ261は、パワーMOSFETであり、ドレイン端子261aが電磁石巻線151の他端151bに、ソース端子261bが電流検出回路255を介して電源153の負極153bに接続されている。また、ダイオード265は、電流回生用あるいはフライホイール用のダイオードであり、カソード端子265aが電源153の正極153aに、アノード端子265bが電磁石巻線151の他端151bに接続されている。

【0065】

そして、トランジスタ261のソース端子261bに接続されている電流検出回路255は、一端が負極153bに他端がトランジスタ261のソース端子261bに接続された検出抵抗256と、この検出抵抗256の他端の電圧から電磁石電流 i_L を検出する検出部257とを有している。この検出部257は電磁石巻線151に流れる電磁石電流 i_L を検出して、この検出結果である電流検出信号273を後述するアンプ制御回路271に出力するようになっている。なお、このように一端が負極153bに接続された検出抵抗256を有する電流検出回路255を用いることで電流検出回路255に高い電圧が入力されることがなくなるので、電磁石電流 i_L の検出に際してノイズが乗り難く、精度良く電磁石電流 i_L を検出できるようになっている。

以上のようにして構成されるアンプ回路250は、各電磁石104、105、106A、106Bを構成する電磁石巻線151、151、…毎に設けられるようになっている。

【0066】

アンプ制御回路271は、従来と同様にDSP部（図示略）内の回路となっている。そして、このアンプ制御回路271は、電流検出回路255で検出した電磁石電流 i_L の値と電流指令値とを比較し、電磁石電流 i_L を増加させる時間（上述した増加時間 T_{p1} ）や電磁石電流 i_L を減少させる時間（上述した減少時間 T_{p2} ）を決めて、これに基づきPWM制御による1周期である制御サイクル T_s 内にトランジスタ261のゲート端子に出力するゲート駆動信号274のパルス幅時間を決めるようになっている。なお、ゲート駆動信号274を出力するに際しては、アンプ制御回路271からの出力信号を一度図示しないField Programmable Gate Array（以下FPGAという）に介した後にトランジスタ261に出力することで、高速動作できるようにしても良い。

【0067】

さらに、図1において、アンプ回路250の共通ノードCに対しては、切替回路280が接続されている。この切替回路280では、共通ノードCに対してトランジスタ281及びダイオード285が接続されている。

ダイオード285は、電流回生用あるいはフライホイール用のダイオードであり、カソ

ード端子 285a が共通ノード C に、アノード端子 285b がアンプ回路 250 と同じ電源 153 の負極 153b に接続されている。また、トランジスタ 281 は、パワー MOS FET であり、ドレイン端子 281a が電源 153 の正極 153a に、ソース端子 281b が共通ノード C に接続されている。そして、このトランジスタ 281 のゲート端子に対してはアンプ制御回路 271 から切替信号 276 が出力されるようになっており、アンプ制御回路 271 ではアンプ回路 250 に対する制御と同じ制御サイクル T_s 内にトランジスタ 281 のゲート端子に出力する切替信号 276 のパルス幅時間を決めるようになっている。

【0068】

かかる構成において、アンプ回路 250 のトランジスタ 261 を on にして、切替回路 280 のトランジスタ 281 を on にすると、正極 153a からトランジスタ 281、共通ノード C、電磁石巻線 151、トランジスタ 261（及び電流検出回路 255）を介して負極 153b へ電流が流れる。そのため、電磁石巻線 151 には電源 153 の正極 153a から電流が供給されるので、電磁石電流 i_L が増加する（この状態を増加モード A1 という）。

【0069】

一方、アンプ回路 250 のトランジスタ 261 を off にして、切替回路 280 のトランジスタ 281 を off にすると、電磁石巻線 151 で生じる逆起電力により負極 153b からダイオード 285、共通ノード C、電磁石巻線 151、ダイオード 265 を介して正極 153a へ回生電流が流れる。これにより電磁石巻線 151 から生じる電磁エネルギーが消費されるので、電磁石電流 i_L が減少する（この状態を減少モード A2 という）。

【0070】

さらに、アンプ回路 250 のトランジスタ 261 を on にして、切替回路 280 のトランジスタ 281 を off にすると、電磁石巻線 151 で生じる逆起電力により負極 153b からダイオード 285、共通ノード C、電磁石巻線 151、トランジスタ 261（及び電流検出回路 255）を介して負極 153b へフライホイール電流が流れる。このとき、電磁石巻線 151 の両端 151a、151b 間には電位差が生じないので、電磁石電流 i_L がほぼ一定に保たれる（この状態を一定モード A3 という）。

【0071】

また、この一定モード A3 以外にも、アンプ回路 250 のトランジスタ 261 を off にして、切替回路 280 のトランジスタ 281 を on にすると、電磁石巻線 151 で生じる逆起電力により正極 153a からトランジスタ 281、共通ノード C、電磁石巻線 151、ダイオード 265 を介して正極 153a へフライホイール電流が流れるので、この場合も電磁石電流 i_L がほぼ一定に保たれる（この状態を一定モード A4 という）。

【0072】

ここで、アンプ回路 250 によるトランジスタ 261 等への制御位相と切替回路 280 によるトランジスタ 281 等への切替位相との調節を示すタイムチャートを図 2 に示す。

図 2 において、切替回路 280 に対しては、制御サイクル T_s 中にトランジスタ 281 が on にされる時間と off にされる時間とが同じ時間となるように制御が行われる。このとき、制御サイクル T_s の始めの時間（時間 0）から制御サイクル T_s の半分の時間（時間 $0.5 T_s$ ）まではトランジスタ 281 が off にされる。そのため、共通ノード C の電圧は、電磁石巻線 151 で生じる逆起電力等により負極 153b と略同じ電圧（以下、電圧 V_L という）になる。一方、制御サイクル T_s の半分の時間（時間 $0.5 T_s$ ）から制御サイクル T_s の終わり（時間 T_s ）まではトランジスタ 281 が on にされる。そのため、共通ノード C の電圧は、正極 153a と略同じ電圧（以下、電圧 V_H という）になる。

【0073】

そして、電流検出回路 255 で検出した電磁石電流 i_L の値が電流指令値よりも小さい場合には、アンプ制御回路 271 で電磁石電流 i_L を増加させるように制御が行われる。この場合には、1 制御サイクル T_s 中で上述した増加時間 T_{p1} だけ増加モード A1 の状

態となるように制御が行われ、他の時間は一定モードA3、A4いずれかの状態となるように制御が行われる。具体的には、時間 $0.5T_s$ ～時間 T_s では切替回路280のトランジスタ281がonにされているので、時間 $0.5T_s$ を始点に時間 T_p1 だけトランジスタ261をonにすることで増加時間 T_p1 だけ増加モードA1の状態とする。また、この時間 T_p1 経過後は、トランジスタ261をoffにすることで一定モードA4の状態とする。一方、時間 0 ～時間 $0.5T_s$ では、切替回路280のトランジスタ281がoffにされているので（すなわち増加モードA1の状態にはできないので）、トランジスタ261をonにすることで一定モードA3の状態とする。これにより、1制御サイクル T_s 中に増加時間 T_p1 だけ電磁石電流 i_L が増加される。

【0074】

一方、電流検出回路255で検出した電磁石電流 i_L の値が電流指令値よりも大きい場合には、アンプ制御回路271で電磁石電流 i_L を減少させるように制御が行われる。この場合には、1制御サイクル T_s 中で上述した減少時間 T_p2 だけ減少モードA2の状態となるように制御が行われ、他の時間は一定モードA3、A4いずれかの状態となるように制御が行われる。具体的には、時間 0 ～時間 $0.5T_s$ では切替回路280のトランジスタ281がoffにされているので、時間 $0.5T_s$ を終点に時間 T_p2 だけトランジスタ261をoffにすることで減少時間 T_p2 だけ減少モードA2の状態とする。また、トランジスタ261をoffにするまでの時間は、トランジスタ261をonにすることで一定モードA3の状態とする。一方、時間 $0.5T_s$ ～時間 T_s では、切替回路280のトランジスタ281がonにされているので（すなわち減少モードA2の状態にはできないので）、トランジスタ261をoffにすることで一定モードA4の状態とする。これにより、1制御サイクル T_s 中に減少時間 T_p2 だけ電磁石電流 i_L が減少される。

【0075】

さらに、電流検出回路255で検出した電磁石電流 i_L の値が電流指令値と一致している場合には、アンプ制御回路271で電磁石電流 i_L を一定に保つように制御が行われる。この場合には、1制御サイクル T_s 中で常に一定モードA3、A4いずれかの状態となるように制御が行われる。具体的には、時間 0 ～時間 $0.5T_s$ では切替回路280のトランジスタ281がoffにされているので、トランジスタ261をonにすることで一定モードA3の状態とする。一方、時間 $0.5T_s$ ～時間 T_s では、切替回路280のトランジスタ281がonにされているので、トランジスタ261をoffにすることで一定モードA4の状態とする。これにより、電磁石電流 i_L が一定に保たれる。

【0076】

以上により、アンプ回路250を1つのトランジスタ261と1つのダイオード265のみで構成しても、切替回路280への制御を行いつつアンプ回路250を制御することで、電磁石電流 i_L を増加、減少、一定に維持させることができ、電磁石電流 i_L の値を電流指令値と一致させることができる。そして、このようなアンプ回路250の構成によりアンプ回路250の素子数が減少するのでターボ分子ポンプ全体の小型化が可能となり、ターボ分子ポンプのクリーンルーム等への設置コストを下げるができる。また、アンプ回路250の素子数が減るため、その故障率を下げたり、アンプ回路250での消費電力や発熱を下げることもできる。さらに、アンプ回路250の製造コストも下げられる。

【0077】

また、本実施形態のアンプ回路250の制御では従来のアンプ回路150への制御と異なり電磁石電流 i_L を一定に保つことができるので、共通ノードCを介して流れる電流のリップルを減らすことができ、アンプ回路250や切替回路280での消費電力や発熱を減らすことができる。

【0078】

さらに、本発明の切替回路280は、いわゆるレギュレータの回路ではない（すなわち共通ノードCを一定電圧に維持するような回路ではない）ので、共通ノードCに対して安定化のためのコンデンサ（図示略）を設けたり、保護用のチョークコイル（図示略）等を

設ける必要がない。そのため、部品コスト等を下げることができる。

【0079】

また、アンプ回路 2 5 0 及び電磁石巻線 1 5 1 間の配線は、共通ノード C の 1 本及び電磁石巻線 1 5 1 の他端 1 5 1 b のノード E の 1 0 本のみとなるため、共通ノード C、ノード E としての配線が 1 1 本のみとなる（従来は 2 0 本必要だった）。従って、制御装置及びターボ分子ポンプ本体 2 0 0 間のケーブルコストや、ターボ分子ポンプ本体 2 0 0 のコネクタ（図示略）のコストを下げるできるので、部品コストを下げるができる。さらに、アンプ回路 2 5 0 の小型化により制御装置（図示略）自体が小型化されるため、制御装置の機能を容易にターボ分子ポンプ本体 2 0 0 側に組み入れることができる。従って、制御装置とターボ分子ポンプ本体 2 0 0 の一体化が可能である。

【0080】

加えて、本実施形態のアンプ回路 2 5 0 でも、図 2 に示すように制御サイクル T_s 中に 1 回同じ検出タイミング T_d で電磁石電流 i_L の検出が行われるが、本実施形態のアンプ回路 2 5 0 では電磁石電流 i_L を一定に保つことができる。そのため、電磁石電流 i_L が一定の状態にあるとき（すなわち一定モード A 3 の状態にあるとき）に電磁石電流 i_L の検出を行うことができる（なお、一定モード A 4 では電流検出回路 2 5 5 に電磁石電流 i_L が供給されないので電流検出は行えない）。

【0081】

従って、過渡的な状態で電磁石電流 i_L の検出を行う必要がないため、検出タイミング T_d と実際の電磁石電流 i_L の波形との間にずれ等が生じても、本来検出すべきであった電磁石電流 i_L の値に対し大きく誤差を生じることはない。また、検出タイミング T_d 付近での電磁石電流 i_L の増減の切り替わりを避けられるので、アンプ回路 2 5 0 や電源 1 5 3 に生じるノイズを低減して、検出誤差を減らすことができる。

【0082】

なお、本実施形態では、切替回路 2 8 0 はトランジスタ 2 8 1 及びダイオード 2 8 5 からなるとして説明してきたが、これに限られない。例えば、図 3 に示すように、上記構成に加えてドレイン端子 2 8 2 a が共通ノード C に、ソース端子 2 8 2 b が負極 1 5 3 b に接続されたトランジスタ 2 8 2 を設けても良い。これにより、アンプ制御回路 2 7 1 からトランジスタ 2 8 2 のゲート端子に切替信号 2 7 7 を出力してこれを制御し、減少モード A 2 や一定モード A 3 の状態でダイオード 2 8 5 に電流が流れるときにトランジスタ 2 8 2 を on にさせる（すなわち同期整流方式で制御する）ことで、上記モードでのダイオード 2 8 5 の発熱を抑えることができる。

【0083】

また、本実施形態においては、アンプ回路 2 5 0 に対しては、時間 $0.5 T_s$ を始点あるいは終点として増加時間 T_{p1} 、減少時間 T_{p2} を設けていたが、これに限られず、それぞれ時間 T_s を終点としたり時間 0 を始点としたりして増加時間 T_{p1} 、減少時間 T_{p2} を設けるようにしても良い。

【0084】

さらに、本実施形態においては、電磁石電流 i_L が一定の状態にあるとき（すなわち一定モード A 3 の状態にあるとき）に電磁石電流 i_L の検出が行われるとして説明したが、さらに具体的に次のように行っても良い。すなわち、アンプ回路 2 5 0 及び切替回路 2 8 0 に対して制御サイクル T_s 中に強制的に一定モード A 3 の状態を作る制御を行って、この期間中に電磁石電流 i_L の検出を行うようにしても良い。この場合、強制的に一定モード A 3 の状態とする時間は、電流検出回路 2 5 5 で電磁石電流 i_L の検出を行い得る時間であれば良いが、例えば図 4 に示すように制御サイクル T_s 中の時間 0 ～時間 $0.1 T_s$ とする。そして、この時間 0 ～時間 $0.1 T_s$ に検出タイミング T_d を設けて電磁石電流 i_L の検出を行う。その後、残りの時間（時間 $0.1 T_s$ ～時間 T_s ）において上述した制御と同じように、例えば時間 $0.1 T_s$ ～時間 $0.55 T_s$ （残り時間の前半）ではトランジスタ 2 8 1 を on にし、時間 $0.55 T_s$ ～時間 T_s （残り時間の後半）ではトランジスタ 2 8 1 を off にして、時間 $0.55 T_s$ （残り時間の半分の時間）を始点ある

いは終点等として時間 T_{p1} 、 T_{p2} を設けるようにすれば良い。このことにより、確実に一定モード A3 の状態において電磁石電流 i_L の検出を行うことができる。

【0085】

次に、本発明の第2の実施形態について説明する。第2実施形態は、第1実施形態であるアンプ回路250及び切替回路280の別例である。

本発明の第2実施形態であるアンプ回路の回路図を図5に示す。なお、図1と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。

図5において、アンプ回路350では、電磁石巻線151の一端151aが共通ノードCに接続されている。また、この電磁石巻線151の他端151bが、トランジスタ361及びダイオード365に接続されている（この他端151bのノードをノードFという）。

【0086】

このとき、トランジスタ361は、パワーMOSFETであり、ドレイン端子361aが電源153の正極153aに、ソース端子361bが電磁石巻線151の他端151bに接続されている。また、ダイオード365は、電流回生用あるいはフライホイール用のダイオードであり、カソード端子365aが電磁石巻線151の他端151bに、アノード端子365bが電流検出回路255を介して電源153の負極153bに接続されている。

【0087】

さらに、このアンプ回路350の共通ノードCに対しては、切替回路380が接続されている。この切替回路380では、共通ノードCに対してトランジスタ381及びダイオード385が接続されている。

トランジスタ381は、パワーMOSFETであり、ドレイン端子381aが共通ノードCに、ソース端子381bがアンプ回路350と同じ電源153の負極153bに接続されている。また、トランジスタ381のゲート端子には、アンプ制御回路371からの切替信号376が入力されている。さらに、ダイオード385は、電流回生用あるいはフライホイール用のダイオードであり、カソード端子385aが電源153の正極153aに、アノード端子385bが共通ノードCに接続されている。

【0088】

かかる構成において、アンプ回路350のトランジスタ361をonにして、切替回路380のトランジスタ381をonにすると、正極153aからトランジスタ361、電磁石巻線151、共通ノードC、トランジスタ381を介して負極153bへ電流が供給される。そのため、電磁石巻線151には電源153の正極153aから電流が供給されるので、電磁石電流 i_L が増加する（この状態を増加モードB1という）。

【0089】

一方、アンプ回路350のトランジスタ361をoffにして、切替回路380のトランジスタ381をoffにすると、電磁石巻線151で生じる逆起電力により負極153bから（電流検出回路255及び）ダイオード365、電磁石巻線151、共通ノードC、ダイオード385を介して正極153aへ回生電流が流れる。これにより電磁石巻線151から生じる電磁エネルギーが消費されるので、電磁石電流 i_L が減少する（この状態を減少モードB2という）。

【0090】

さらに、アンプ回路350のトランジスタ361をoffにして、切替回路380のトランジスタ381をonにすると、電磁石巻線151で生じる逆起電力により負極153bから（電流検出回路255及び）ダイオード365、電磁石巻線151、共通ノードC、トランジスタ381を介して負極153bへフライホイール電流が流れる。このとき、電磁石巻線151の両端151a、151b間には電位差が生じないので、電磁石電流 i_L がほぼ一定に保たれる（この状態を一定モードB3という）。

【0091】

また、この一定モードB3以外にも、アンプ回路350のトランジスタ361をonに

して、切替回路 380 のトランジスタ 381 を *off* にすると、電磁石巻線 151 で生じる逆起電力により正極 153a からトランジスタ 361、電磁石巻線 151、共通ノード C、ダイオード 385 を介して正極 153a へフライホイール電流が流れるので、この場合も電磁石電流 i_L がほぼ一定に保たれる（この状態を一定モード B4 という）。

【0092】

ここで、アンプ回路 350 によるトランジスタ 361 等への制御位相と切替回路 380 によるトランジスタ 381 等への切替位相との調節を示すタイムチャートを図 6 に示す。

図 6 において、切替回路 380 に対しては、本実施形態においても制御サイクル T_s 中にトランジスタ 381 が *on* にされる時間と *off* にされる時間とが同じ時間となるように制御が行われる。このとき、時間 0～時間 $0.5T_s$ ではトランジスタ 381 が *on* にされて共通ノード C の電圧が負極 153b と略同じ電圧 V_L にされ、時間 $0.5T_s$ ～時間 T_s では電磁石巻線 151 で生じる逆起電力等により共通ノード C の電圧が正極 153a と略同じ電圧 V_H にされる。この共通ノード C の遷移は、第 1 実施形態（図 2）と同様である。

【0093】

そして、電流検出回路 255 で検出した電磁石電流 i_L の値が電流指令値よりも小さい場合には、アンプ制御回路 371 で電磁石電流 i_L を増加させるように制御が行われる。この場合には、1 制御サイクル T_s 中で増加時間 T_{p1} だけ増加モード B1 の状態となるように制御が行われ、他の時間は一定モード B3、B4 いずれかの状態となるように制御が行われる。具体的には、時間 0～時間 $0.5T_s$ では切替回路 380 のトランジスタ 381 が *on* にされているので、時間 $0.5T_s$ を終点に時間 T_{p1} だけトランジスタ 361 を *on* にすることで増加時間 T_{p1} だけ増加モード B1 の状態とする。また、トランジスタ 361 を *on* にするまでの時間は、トランジスタ 361 を *off* にすることで一定モード B3 の状態とする。一方、時間 $0.5T_s$ ～時間 T_s では、切替回路 380 のトランジスタ 381 が *off* にされているので、トランジスタ 361 を *on* にすることで一定モード B4 の状態とする。これにより、1 制御サイクル T_s 中に増加時間 T_{p1} だけ電磁石電流 i_L が増加される。

【0094】

一方、電流検出回路 255 で検出した電磁石電流 i_L の値が電流指令値よりも大きい場合には、アンプ制御回路 371 で電磁石電流 i_L を減少させるように制御が行われる。この場合には、1 制御サイクル T_s 中で減少時間 T_{p2} だけ減少モード B2 の状態となるように制御が行われ、他の時間は一定モード B3、B4 いずれかの状態となるように制御が行われる。具体的には、時間 $0.5T_s$ ～時間 T_s では切替回路 380 のトランジスタ 381 が *off* にされているので、時間 $0.5T_s$ を始点に時間 T_{p2} だけトランジスタ 361 を *off* にすることで減少時間 T_{p2} だけ減少モード B2 の状態とする。また、この時間 T_{p2} 経過後は、トランジスタ 361 を *on* にすることで一定モード B4 の状態とする。一方、時間 0～時間 $0.5T_s$ では、切替回路 380 のトランジスタ 381 が *on* にされているので、トランジスタ 361 を *off* にすることで一定モード B3 の状態とする。これにより、1 制御サイクル T_s 中に減少時間 T_{p2} だけ電磁石電流 i_L が減少される。

【0095】

さらに、電流検出回路 255 で検出した電磁石電流 i_L の値が電流指令値と一致している場合には、アンプ制御回路 371 で電磁石電流 i_L を一定に保つように制御が行われる。この場合には、1 制御サイクル T_s 中で常に一定モード B3、B4 いずれかの状態となるように制御が行われる。具体的には、時間 0～時間 $0.5T_s$ では切替回路 380 のトランジスタ 381 が *on* にされているので、トランジスタ 361 を *off* にすることで一定モード B3 の状態とする。一方、時間 $0.5T_s$ ～時間 T_s では、切替回路 380 のトランジスタ 381 が *off* にされているので、トランジスタ 361 を *on* にすることで一定モード B4 の状態とする。これにより、電磁石電流 i_L が一定に保たれる。

【0096】

以上により、第1実施形態(図1)と異なるアンプ回路350及び切替回路380でも、電磁石電流*i*Lを増加、減少、一定に維持させることが可能となる。そして、アンプ回路350も1つのトランジスタ361と1つのダイオード365のみで構成されるので、アンプ回路350の素子数を減らすことができ、ターボ分子ポンプの製造、設置等に必要なコストを下げるができる。このため、設計容易なアンプ回路250、350を選択可能であり、かつその制御においても容易な構成を選択可能となる。

【0097】

加えて、本実施形態のアンプ回路350でも第1実施形態と同様に電磁石電流*i*Lを一定に保つことができるので、この電磁石電流*i*Lが一定の状態にあるとき(すなわち一定モードB3の状態にあるとき)に電磁石電流*i*Lの検出を行うことができる。従って、過渡的な状態で電磁石電流*i*Lの検出を行う必要がないので、電磁石電流*i*Lの検出に際して誤差を減らすことができる。

【0098】

なお、本実施形態では、切替回路380はトランジスタ381及びダイオード385からなるとして説明してきたが、これに限られず、図7に示すようにドレイン端子382aが正極153aに、ソース端子382bが共通ノードCに接続されたトランジスタ382を設けても良い。これにより、トランジスタ382のゲート端子に切替信号377を出力して同期整流方式で制御することで、減少モードB2や一定モードB4でのダイオード385の発熱を抑えることができる。

【0099】

また、本実施形態においても、電磁石電流*i*Lが一定の状態にあるときに電磁石電流*i*Lの検出が行われるとして説明したが、第1実施形態で説明したのと同様に(図4)、アンプ回路350及び切替回路380に対して制御サイクル*T*s中に強制的に一定モードB3の状態を作る制御を行って、この期間中に電磁石電流*i*Lの検出を行っても良い。このことにより、確実に一定モードB3の状態において電磁石電流*i*Lの検出を行うことができる。

【0100】

次に、本発明の第3の実施形態について説明する。第1実施形態及び第2実施形態では、各電磁石104、105、106A、106Bを構成する電磁石巻線151、151、…が1種類のアンプ回路250、350で制御されるものであったが、第3実施形態では、電磁石104、105、106A、106Bの配置毎に適宜2つのグループに分けられ、それぞれのグループが第1実施形態と同じ構成を有するアンプ回路250(図1)や第2実施形態と同じ構成を有するアンプ回路350(図5)により制御されるものである。

【0101】

本発明の第3実施形態であるアンプ回路の回路図を図8に示す。なお、図1、図5と同一要素のものについては同一符号を付して説明は省略する。

図8において、各電磁石104、105、106A、106Bを構成する複数の電磁石巻線151、151、…に対して、第1実施形態と同じ構成を有するアンプ回路250(図1)と、第2実施形態と同じ構成を有するアンプ回路350(図5)とが組み合わされている。そして、これら複数の電磁石巻線151、151、…が2つのグループに分けられている(アンプ回路250からの制御を受ける電磁石巻線151、151、…をグループAといい、アンプ回路350からの制御を受ける電磁石巻線151、151、…をグループBという)。

【0102】

ここで、このグループ分けの仕方について具体的な例を挙げて説明する。一例として、上側径方向電磁石104のX軸正側電磁石104X+、負側電磁石104X-、及び下側径方向電磁石105のX軸正側電磁石105X+、負側電磁石105X-について説明する。

【0103】

例えば、回転体103全体をX軸の+方向に位置制御する場合には、電磁石104X+

、105X+に流れる電磁石電流*i*Lを増加させ、電磁石104X-、105X-に流れる電磁石電流*i*Lを減少させる。逆に、回転体103全体をX軸の一方向に位置制御する場合には、電磁石104X+、105X+に流れる電磁石電流*i*Lを減少させ、電磁石104X-、105X-に流れる電磁石電流*i*Lを増加させる。このように上側径方向電磁石104と下側径方向電磁石105のX軸方向への制御は同様の制御となることが多い。

【0104】

従って、例えば電磁石104X+をグループAとした場合には電磁石105X+をグループBとすることで、電磁石電流*i*Lの増加時にグループAで共通ノードCから負極153bへ電流が流れたときにグループBで正極153aから共通ノードCへ電流が流れるようになるので、共通ノードCを介して流れる電磁石電流*i*Lが均等化される。このことは、電磁石電流*i*Lの減少時や電磁石電流*i*Lを一定にする場合でも同様である。また、電磁石104X+をグループBに、電磁石105X+をグループAにした場合でも同様である。

【0105】

そのため、上側径方向電磁石104及び下側径方向電磁石105のうち、電磁石104X+と電磁石105X+は互いに異なるグループに分けられている。また、他の電磁石104X-と電磁石105X-、Y軸側の電磁石104Y+と電磁石105Y+、電磁石104Y-と電磁石105Y-についても同様のことがいえるので、それぞれ異なるグループに分けられている。

【0106】

一方、X軸正側電磁石104X+と負側電磁石104X-との関係について、回転体103をX軸正方向に位置制御する場合、電磁石104X+の電磁石電流*i*Lが増加され、電磁石104X-の電磁石電流*i*Lが減少される傾向にあるので、これらを同じグループに入れることで共通ノードCを介して流れる電磁石電流*i*Lが均等化され易い。そのため、上側径方向電磁石104及び下側径方向電磁石105のうち、電磁石104X+と電磁石104-は互いに同じグループに分けられている。また、他の電磁石104Y+と電磁石104Y-、下側径方向電磁石105の電磁石105X+と電磁石105X-、電磁石105Y+と電磁石105Y-、さらには軸方向電磁石106A及び軸方向電磁石106Bについても同様のことがいえるので、それぞれ同じグループに分けられている。

【0107】

そして、以上のようにして各グループA、Bに分けられた電磁石巻線151、151、…の一端151a、151a、…は、ともに共通ノードCに接続されている。また、この共通ノードCに対しては、切替回路480が接続されている。

この切替回路480では、共通ノードCに対して第1実施形態の切替回路280と同じ構成を有するトランジスタ281及びダイオード285と、第2実施形態の切替回路380と同じ構成を有するトランジスタ381及びダイオード385とが組み合わされて接続されている。また、これらのトランジスタ281、381のゲート端子に対しては、アンプ制御回路471からそれぞれ切替信号276、376が出力されている。このアンプ制御回路471は、第1実施形態のアンプ制御回路271と第2実施形態のアンプ制御回路371との機能を合わせ持った回路となっている。

【0108】

かかる構成において、切替回路480によるトランジスタ281、381等への切替位相の調節を示すタイムチャートを図9に示す。

図9において、切替回路480に対しては、制御サイクル*T*_s中にトランジスタ381がonにされる時間とトランジスタ281がonにされる時間とが同じ時間となるように制御が行われる。このとき、時間0～時間0.5*T*_sではトランジスタ281がoff、トランジスタ381がonにされ、時間0.5*T*_s～時間*T*_sではトランジスタ281がon、トランジスタ381がoffにされる。この場合、正極153a及び負極153b間に貫通電流が流れてノイズ等が発生しないように、トランジスタ381がoffにされてからトランジスタ281がonにされるまでの間（時間0.5*T*_s付近）や、トランジ

スタ 281 が off にされてから トランジスタ 381 が on にされるまでの間 (時間 0、時間 T_s 付近) には、両 トランジスタ 281、381 がともに off にされるデッドタイムが設けられることが望ましい (図示略)。

【0109】

そして、このような切替回路 480 への制御により、共通ノード C は時間 0 ~ 時間 $0.5T_s$ では電圧 V_L に、時間 $0.5T_s$ ~ 時間 T_s では電圧 V_H になるように遷移する。従って、この共通ノード C の遷移は第 1 実施形態 (図 2) 及び第 2 実施形態 (図 6) と同様となる。そのため、アンプ回路 250 に対しては第 1 実施形態で説明したものと同様の制御を行うことで、電磁石電流 i_L を増加、減少、一定に維持させることが可能となる。また、アンプ回路 350 に対しても第 2 実施形態で説明したものと同様の制御を行うことで、電磁石電流 i_L を増加、減少、一定に維持させることが可能となる。このことから、各アンプ回路 250、350 が 1 つの トランジスタ 261、361 と 1 つの ダイオード 265、365 で構成されるので、アンプ回路 250、350 の素子数を減らすことができ、ターボ分子ポンプの製造、設置等に必要のコストを下げるができる。

【0110】

また、電磁石電流 i_L の検出に際しても、電磁石電流 i_L を一定に保つことができるので、それぞれのアンプ回路 250、350 が一定モード A3、B3 の状態にあるときに電磁石電流 i_L の検出を行うことができる。従って、いずれのアンプ回路 250、350 においても過渡的な状態で電磁石電流 i_L の検出を行う必要がないので、電磁石電流 i_L の検出に際して誤差を減らすことができる。特に、各アンプ回路 250、350 は制御サイクル T_s 中の時間 0 以降すぐに一定モード A3、B3 の状態となるため、共通の検出タイミング T_d で電磁石電流 i_L の検出を行うことができ、検出タイミング T_d の制御を簡単に行うことができる。

【0111】

さらに、各電磁石 104、105、106A、106B を構成する電磁石巻線 151、151、…について適宜グループ分けを行うことで共通ノード C を介して流れる電磁石電流 i_L が均等化できるので、トランジスタ 281、381 やダイオード 285、385 のサイズを小さく構成でき、ターボ分子ポンプの一層の小型化を図ることができる。また、これらの素子を介して流れる電流も減らせるので、発熱等を防止できる。さらに、電源 153 から供給すべき電流も減らせるので、入力電源容量を小さくできる。

【0112】

なお、本実施形態においては、電磁石電流 i_L が一定の状態にあるときに電磁石電流 i_L の検出が行われるとして説明したが、第 1 実施形態等で説明したのと同様に (図 4)、アンプ回路 250、350 及び切替回路 480 に対して制御サイクル T_s 中に強制的に一定モード A3、B3 の状態を作る制御を行って、この期間中に電磁石電流 i_L の検出を行っても良い。

【図面の簡単な説明】

【0113】

【図 1】本発明の第 1 実施形態のアンプ回路の回路図

【図 2】本発明の第 1 実施形態のアンプ回路の制御位相と切替回路の切替位相との調節を示すタイムチャート

【図 3】図 1 の別例

【図 4】図 2 の別例

【図 5】本発明の第 2 実施形態のアンプ回路の回路図

【図 6】本発明の第 2 実施形態のアンプ回路の制御位相と切替回路の切替位相との調節を示すタイムチャート

【図 7】図 5 の別例

【図 8】本発明の第 3 実施形態のアンプ回路の回路図

【図 9】本発明の第 3 実施形態の切替回路の切替位相の調節を示すタイムチャート

【図 10】ターボ分子ポンプ本体の縦断面図

【図 11】従来のアンプ回路の回路図

【図 12】従来のアンプ回路の制御を示すタイムチャート

【符号の説明】

【0114】

100、200 ターボ分子ポンプ本体

102 回転翼

103 回転体

104、105、106A、106B 電磁石

113 ロータ軸

150、250、350 アンプ回路

151 電磁石巻線

153 電源

155、255 電流検出回路

161、162、261、281、282、361、381、382 トラン

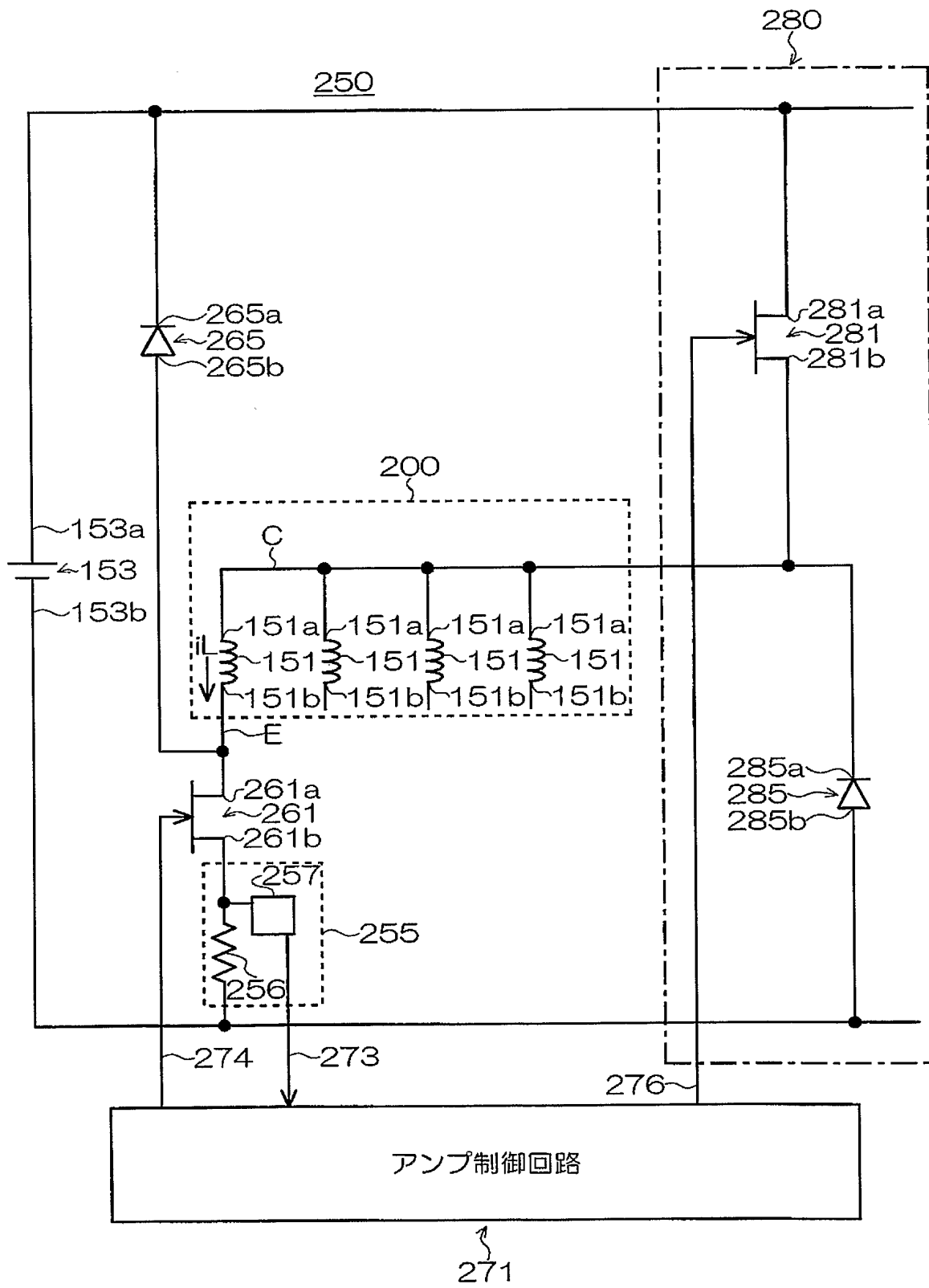
ジスタ

165、166、265、285、365、385 ダイオード

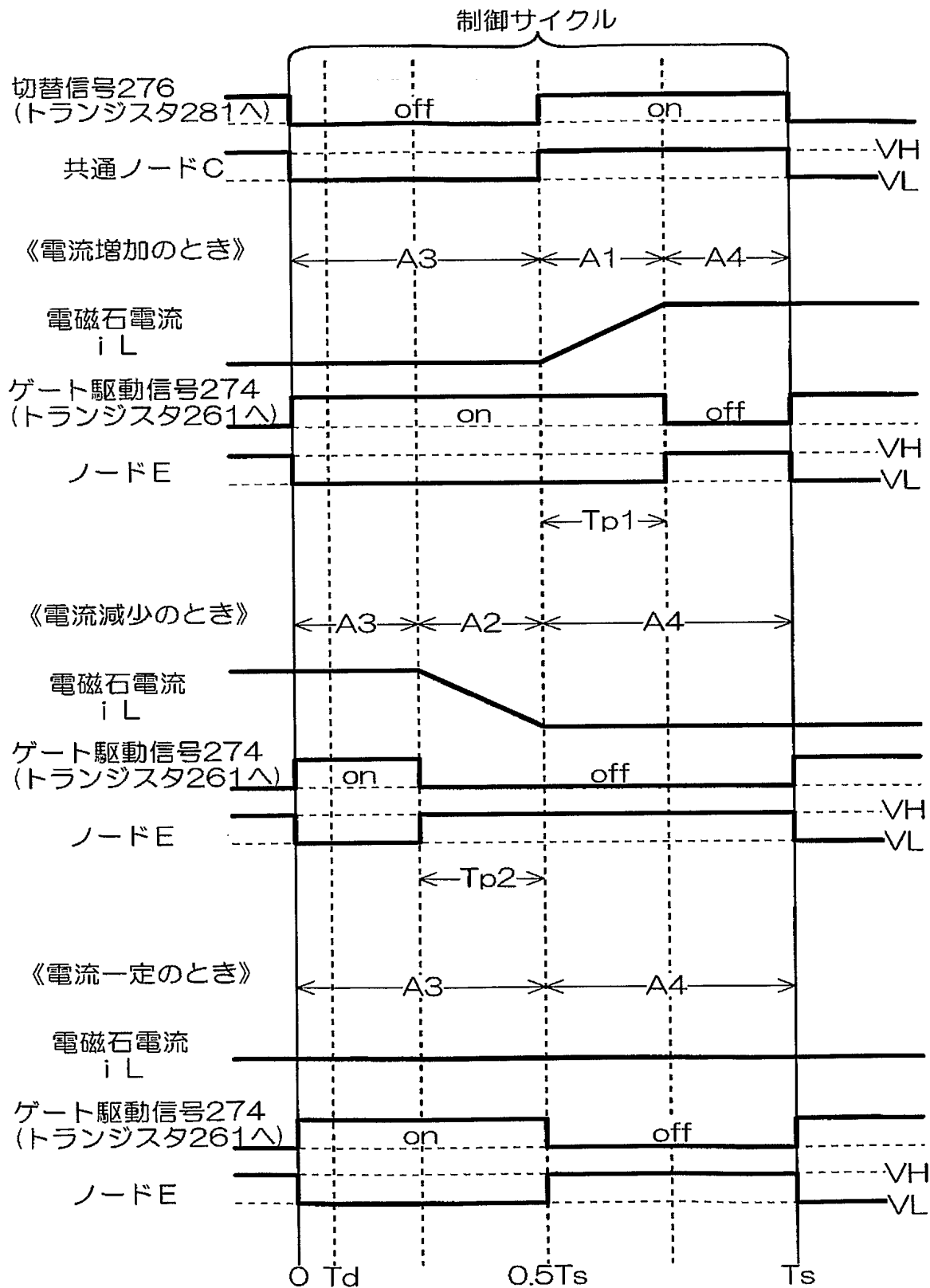
171、271、371、471 アンプ制御回路

280、380、480 切替回路

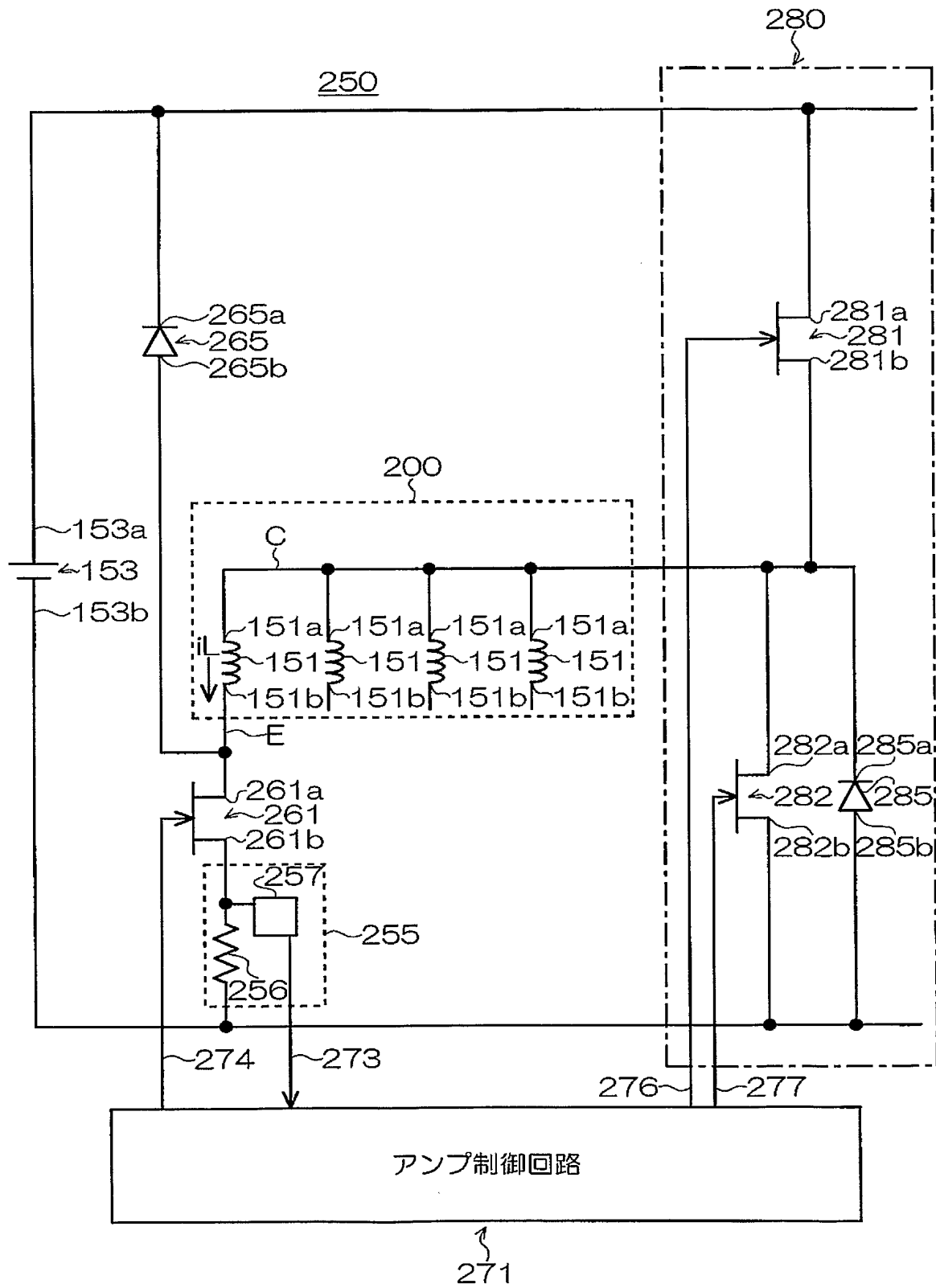
【書類名】 図面
【図 1】



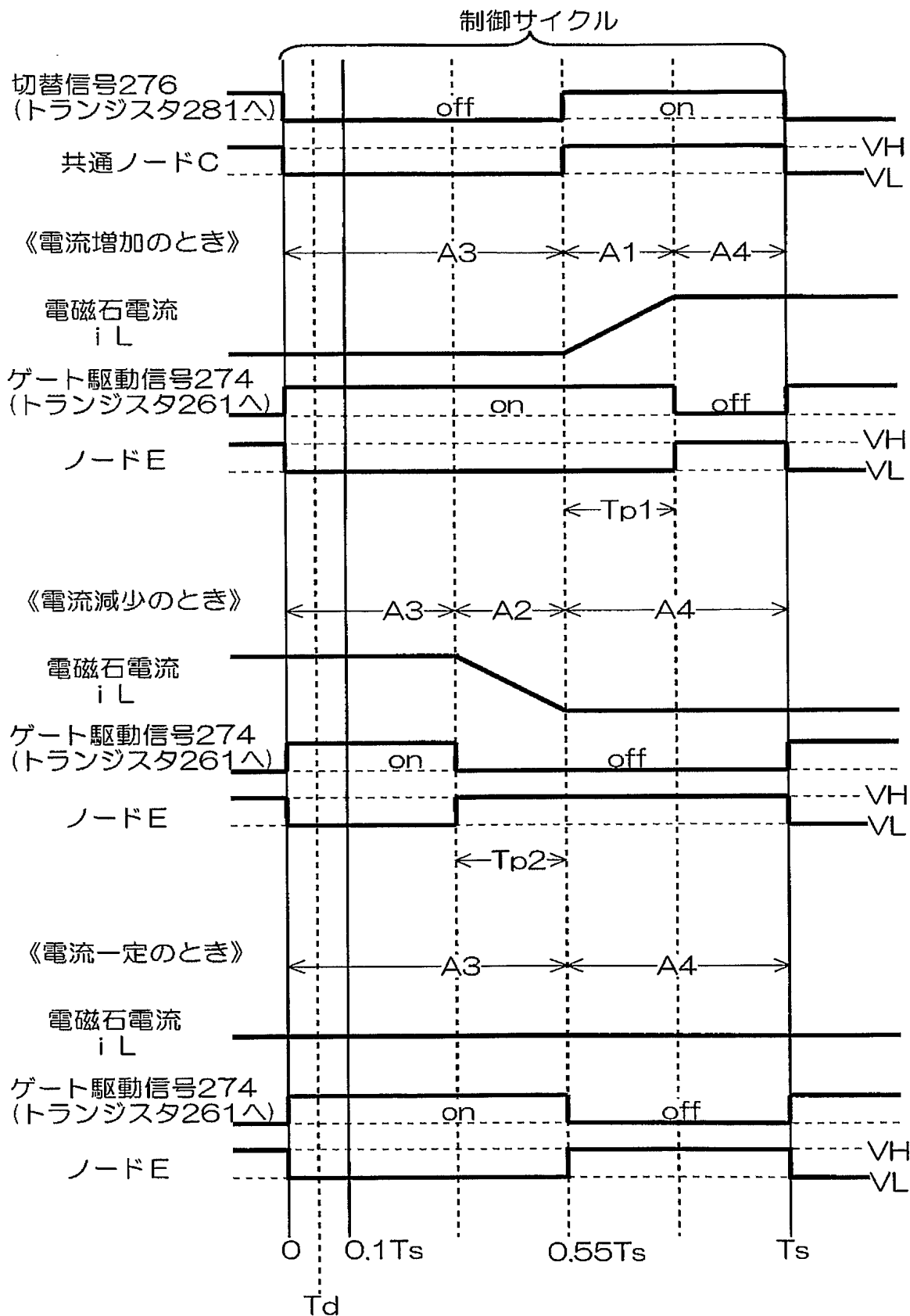
【図 2】



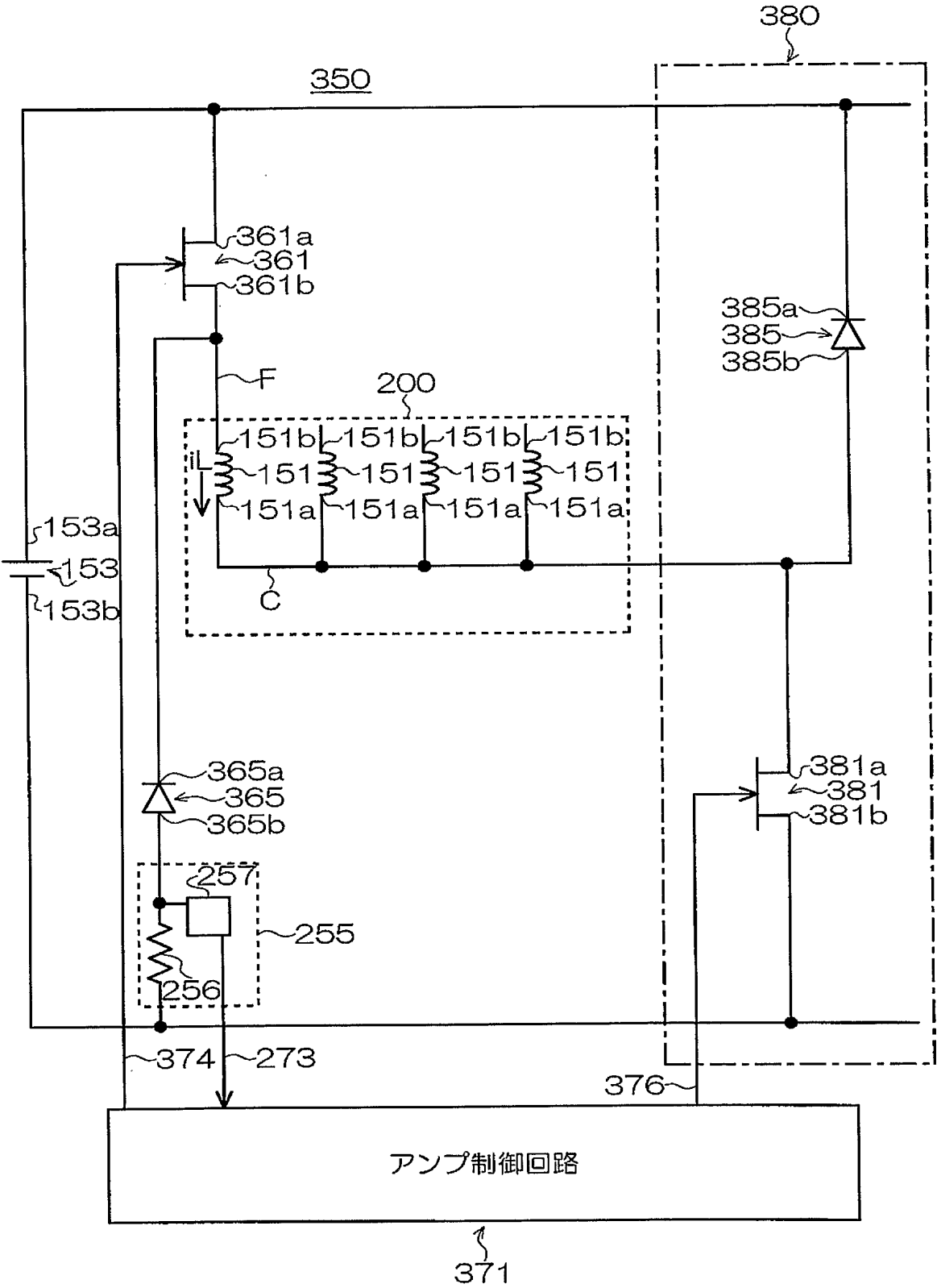
【図 3】



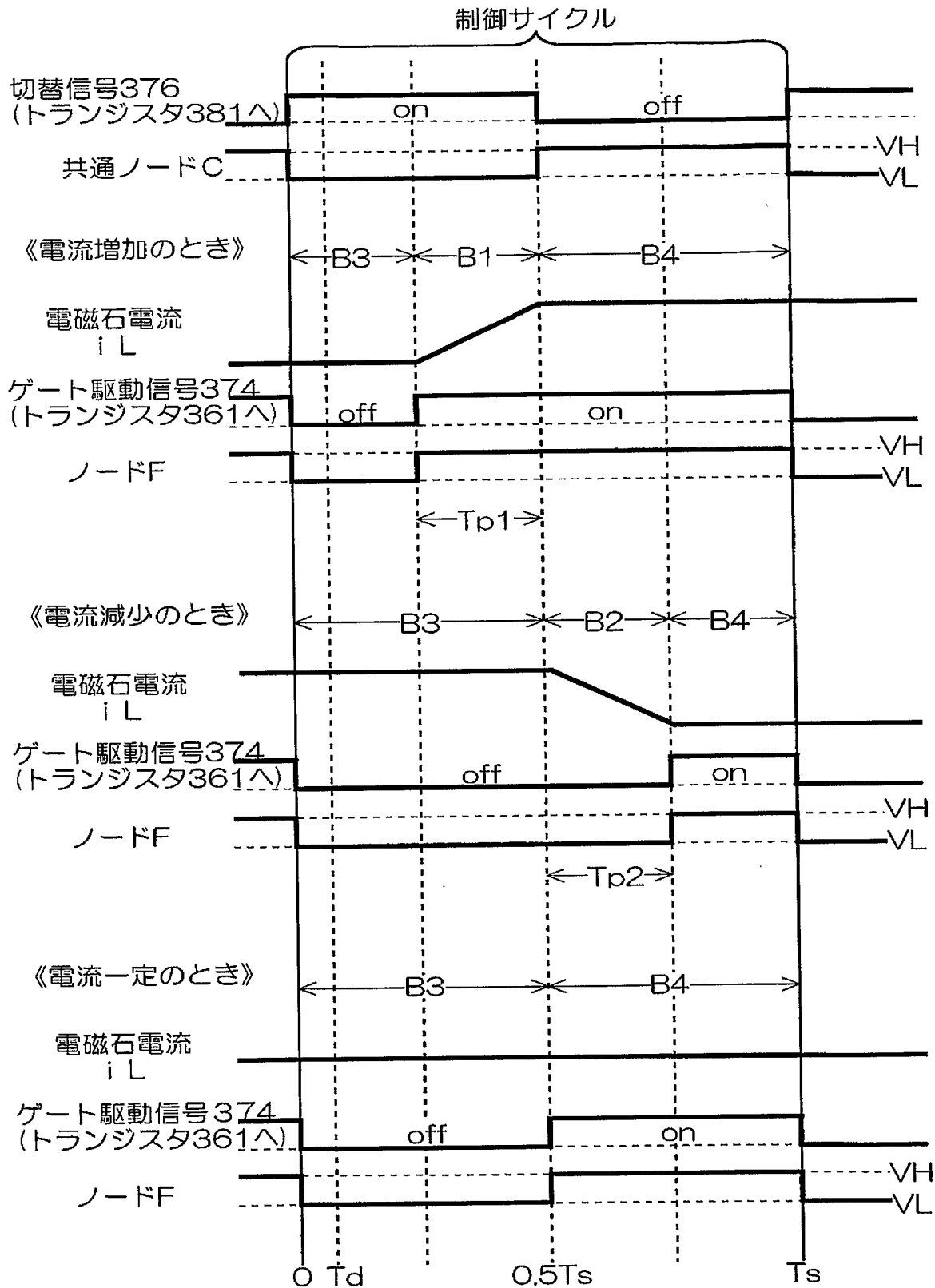
【図 4】



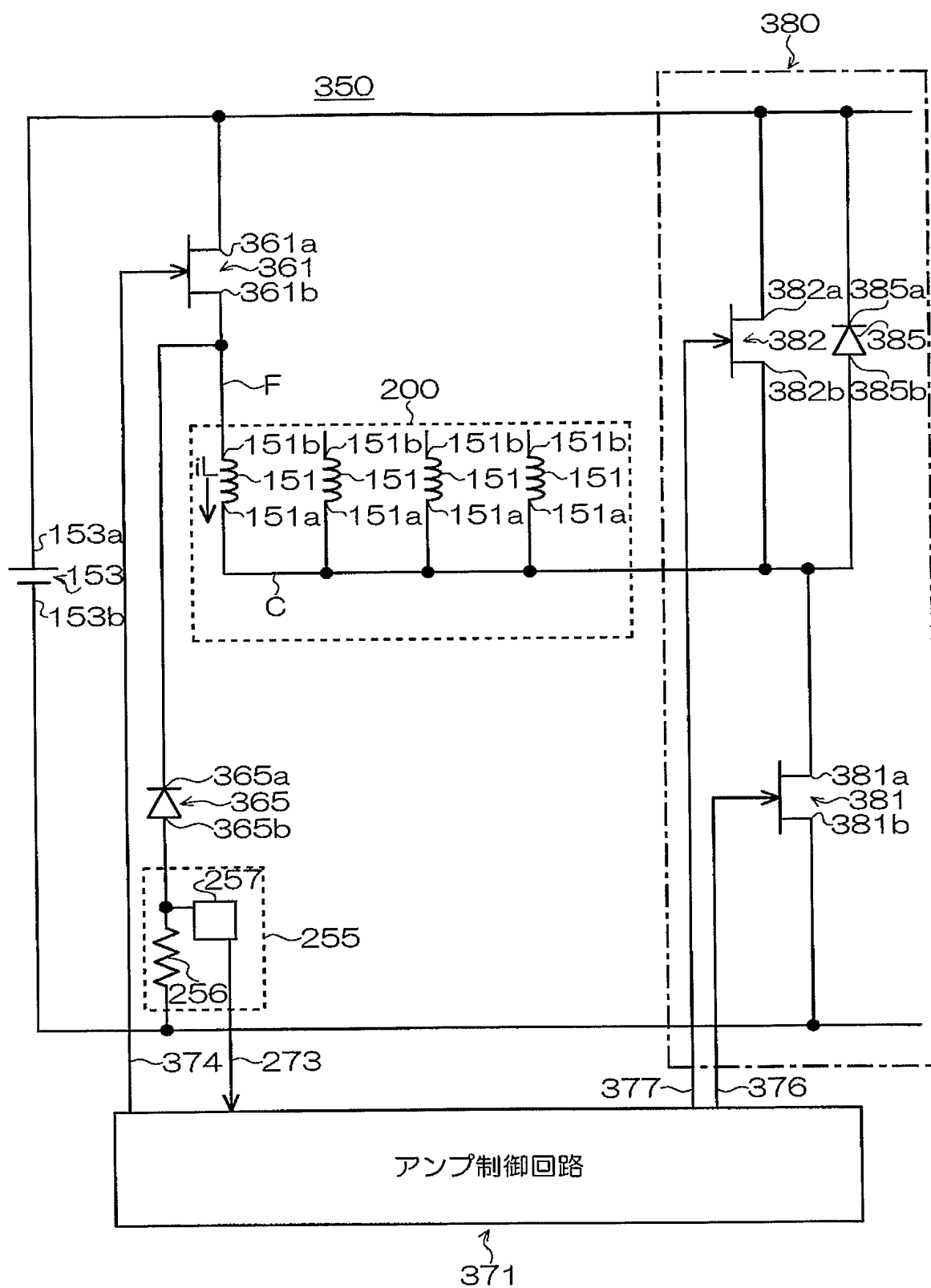
【図 5】



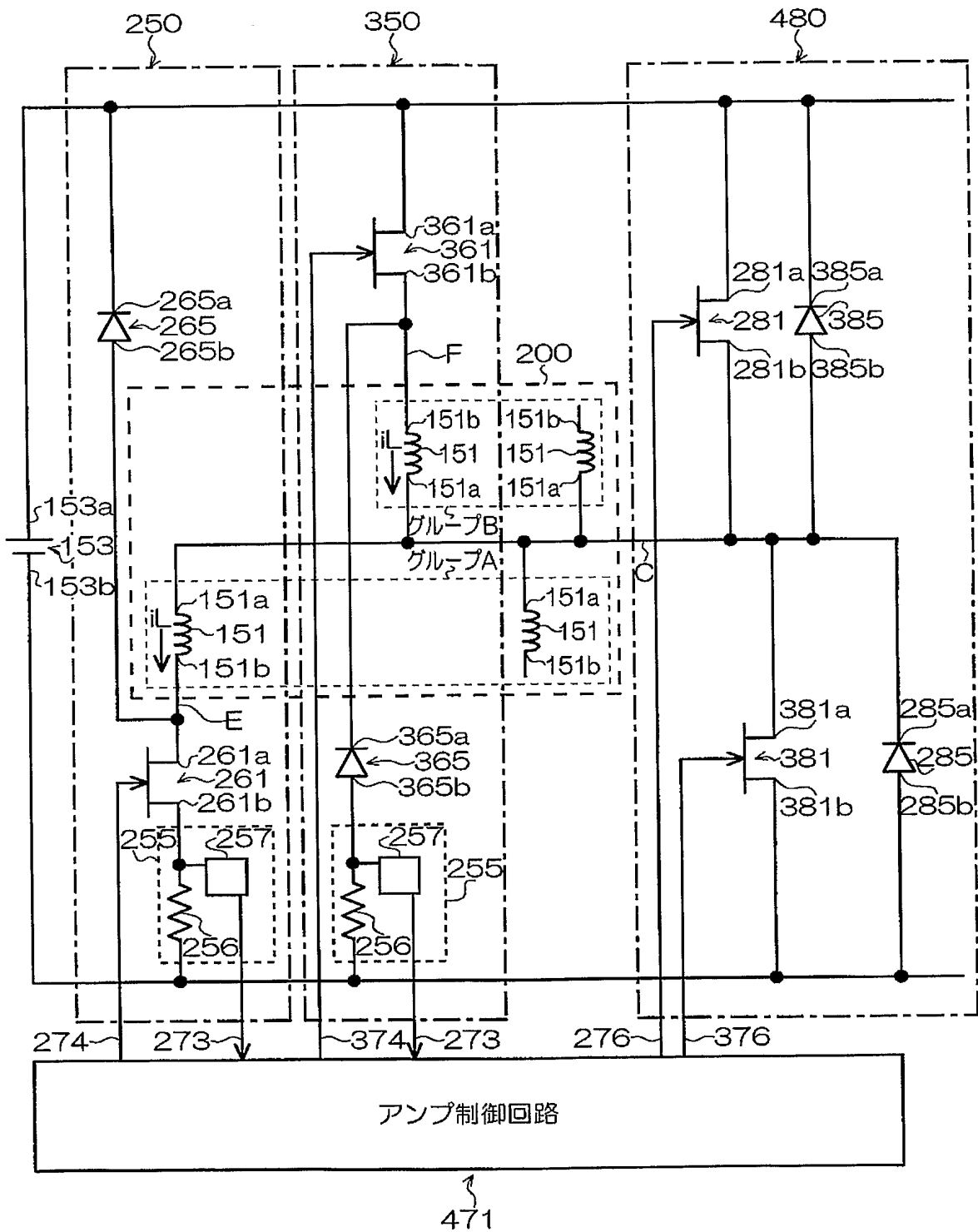
【図 6】



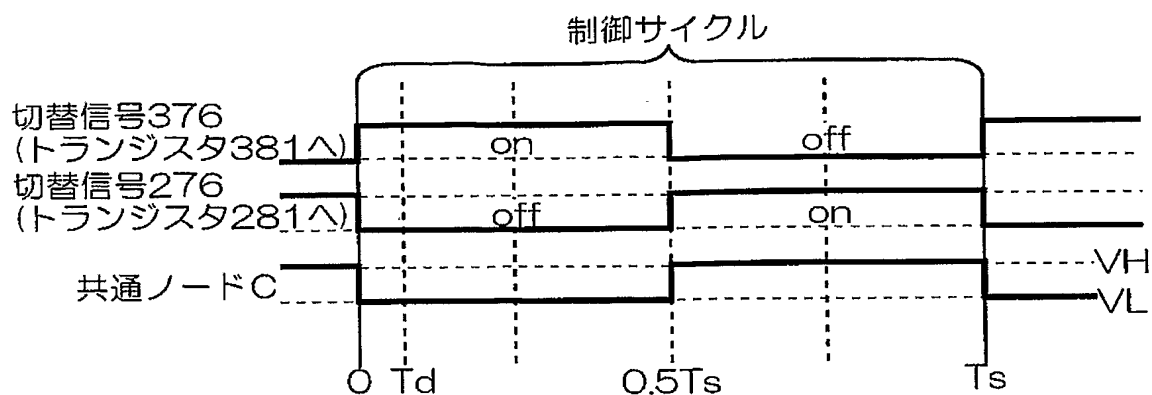
【図 7】



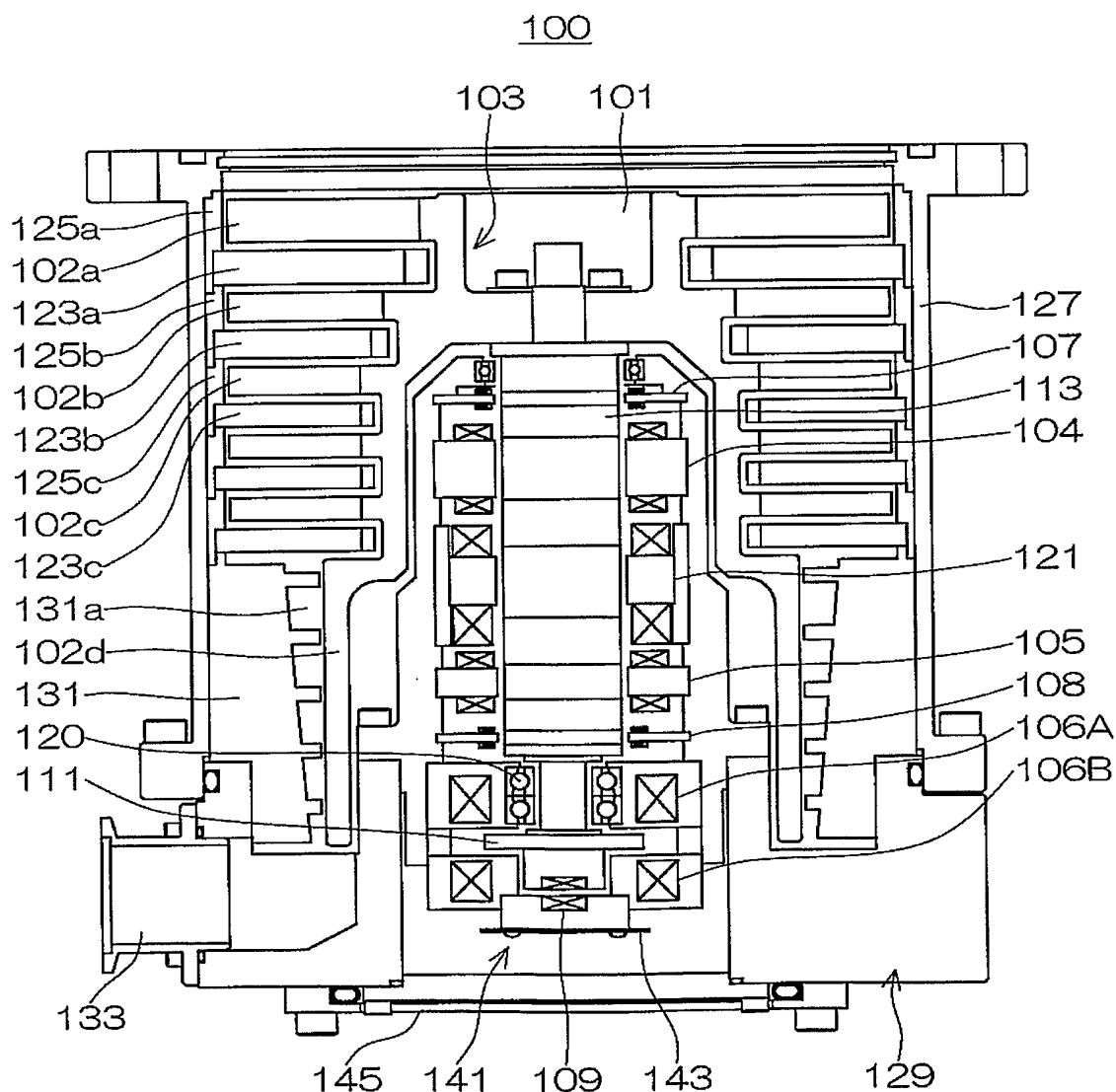
【図 8】



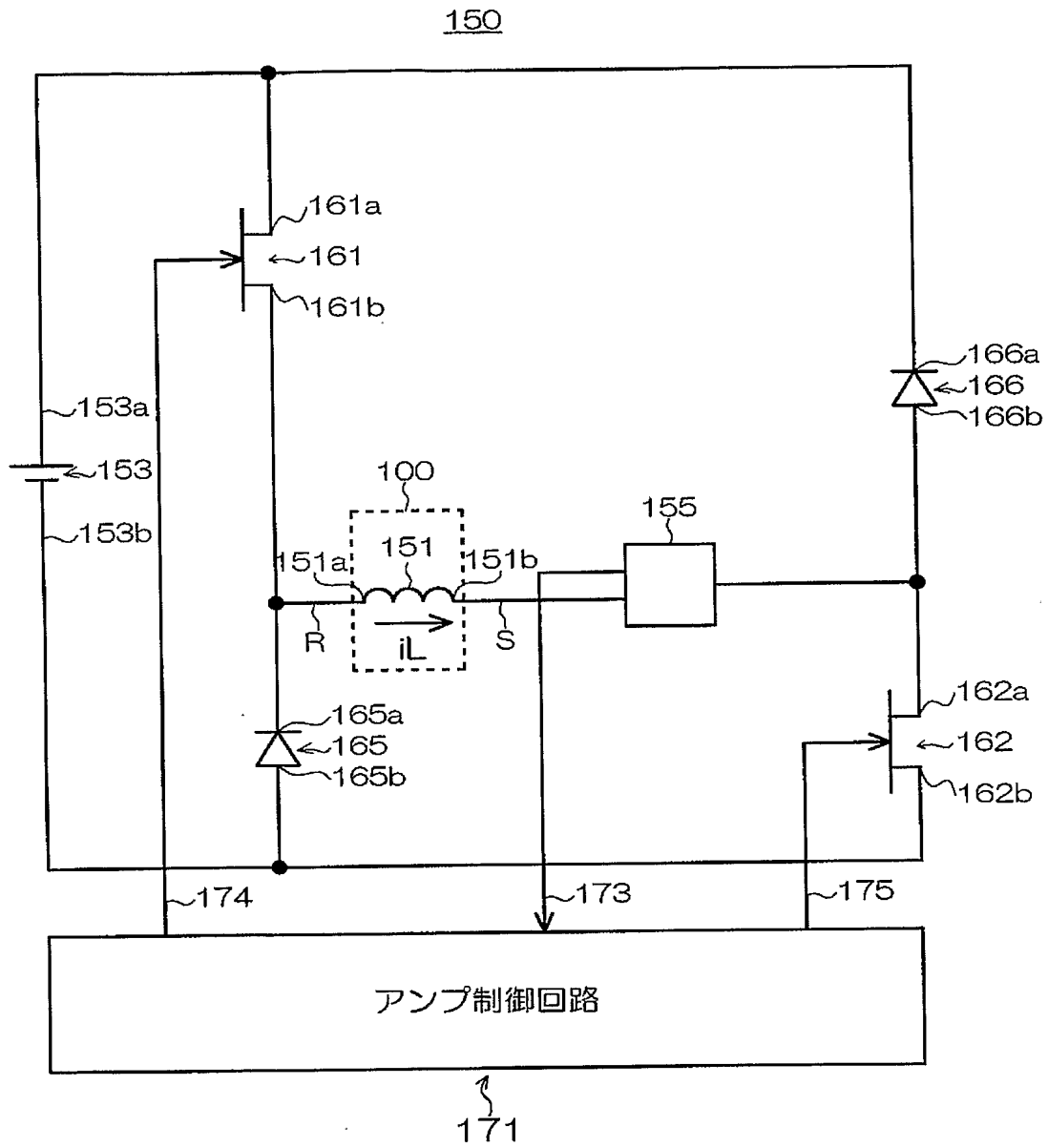
【図9】



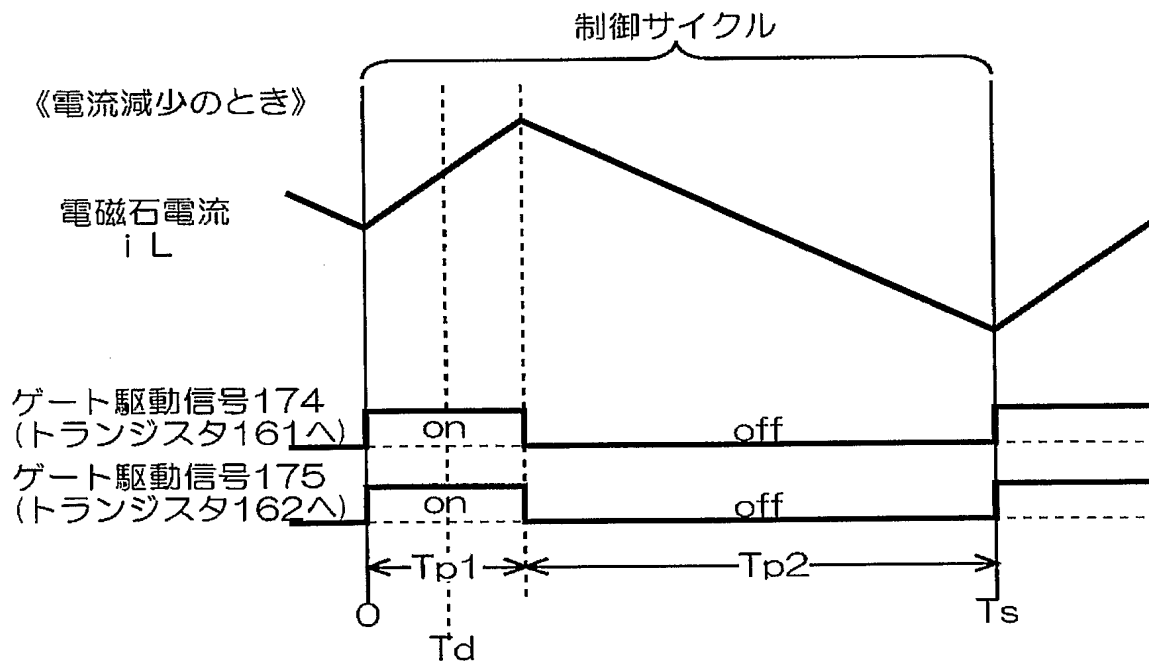
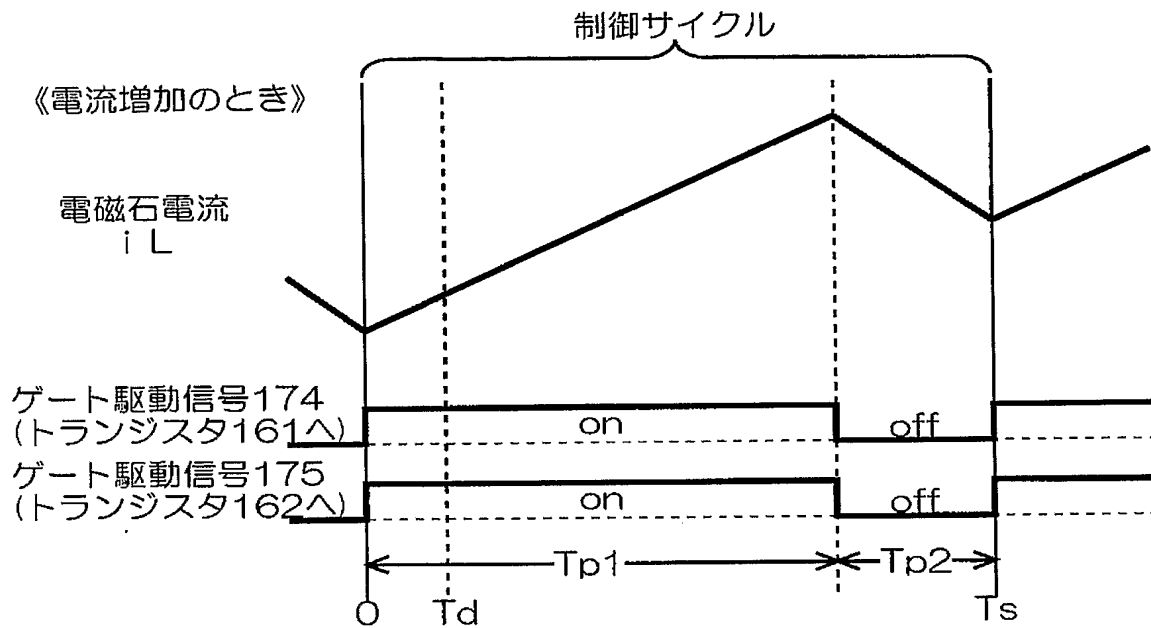
【図10】



【図 11】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電磁石を励磁駆動するアンプ回路の素子数を減らすことでターボ分子ポンプの製造、設置等に必要なコストを減少させるとともに、電磁石に流れる電流の検出に際して誤差を減らすことのできる磁気軸受装置及び該磁気軸受装置を搭載したターボ分子ポンプを提供する。

【解決手段】 各電磁石 1 0 4、1 0 5、1 0 6 A、1 0 6 B を構成する電磁石巻線 1 5 1 の一端 1 5 1 a が共通ノード C に接続されている。この共通ノード C には、トランジスタ 2 8 1 及びダイオード 2 8 5 からなる切替回路 2 8 0 が接続されている。一方、電磁石巻線 1 5 1 の他端 1 5 1 b には、トランジスタ 2 6 1 及びダイオード 2 6 5 からなるアンプ回路 2 5 0 が接続されている。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 4 - 0 6 0 0 4 7
受付番号	5 0 4 0 0 3 5 4 6 8 2
書類名	特許願
担当官	鈴木 紳 9 7 6 4
作成日	平成 1 6 年 3 月 5 日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	598021579
【住所又は居所】	東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 秀和芝パーク ビル A - 3 F

【氏名又は名称】	B O C エドワーズ株式会社
----------	-----------------

【代理人】 申請人

【識別番号】	100105201
【住所又は居所】	東京都中央区八丁堀 4 丁目 1 0 番 9 号 林ビル 2 階 椎名国際特許事務所

【氏名又は名称】	椎名 正利
----------	-------

特願 2 0 0 4 - 0 6 0 0 4 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[5 9 8 0 2 1 5 7 9]

1. 変更年月日

2 0 0 3 年 1 2 月 1 7 日

[変更理由]

名称変更

住 所

東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 秀和芝パークビル A - 3 F

氏 名

B O C エドワーズ株式会社